

# Analiza globalnih satelitskih misija daljinskih istraživanja od interesa za poljoprivredu i zaštitu okoliša

---

**Jakubek, Antonio**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:*

**Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:151:882646>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-19**



Sveučilište Josipa Jurja  
Strossmayera u Osijeku

**Fakultet  
agrobiotehničkih  
znanosti Osijek**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek - Repository of the Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek](#)



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Antonio Jakubek

Diplomski sveučilišni studij Mehanizacija

**ANALIZA GLOBALNIH SATELITSKIH MISIJA DALJINSKIH ISTRAŽIVANJA  
OD INTERESA ZA POLJOPRIVREDU I ZAŠTITU OKOLIŠA**

**Diplomski rad**

Osijek, 2023.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERAU OSIJEKU  
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Antonio Jakubek

Diplomski sveučilišni studij Mehanizacija

**ANALIZA GLOBALNIH SATELITSKIH MISIJA DALJINSKIH ISTRAŽIVANJA  
OD INTERESA ZA POLJOPRIVREDU I ZAŠTITU OKOLIŠA**

**Diplomski rad**

Povjerenstvo za ocjenu i obranu diplomskog rada:

1. izv.prof.dr.sc. Ivan Plaščak
2. prof.dr.sc. Mladen Jurišić
3. prof.dr.sc. Irena Rapčan

Osijek, 2023.

## SADRŽAJ:

1. UVOD .....	1
2. SATELITSKE MISIJE DALJINSKIH ISTRAŽIVANJA .....	4
2.1. Vrste satelitskih misija i njihova svrha .....	4
2.1.1. Orbite i izvori podataka .....	7
2.1.2. Zajedničke karakteristike .....	9
2.2. Landsat .....	11
2.2.1. Primjena .....	13
2.3. Sentinel .....	14
2.4. DigitalGlobe .....	17
2.5. SRTM .....	18
3. SENZORI DALJINSKIH ISTRAŽIVANJA .....	20
3.1. Multispektralni senzori .....	20
3.1.1. Modificirani multispektralni senzor .....	21
3.1.2. Višepojasni multispektralni senzor .....	21
3.2. Hiperspektralni senzori .....	21
3.2.1. Spektralni pojasevi .....	23
3.3. LiDAR .....	24
3.3.1. Zračni LiDAR senzor .....	25
3.3.2. Zemaljski LiDAR senzor .....	26
3.4. RADAR .....	27
3.4.1. Raspršivanje .....	27
3.4.2. Interferometrija .....	28
4. METODE OBRADE I ANALIZE PODATAKA .....	30
4.1. Klasifikacija .....	30
4.1.1. Klasifikacija slika bez nadzora .....	30
4.1.2. Nadzirana klasifikacija slika .....	31
4.1.3. Objektna analiza slike (OBIA) .....	32
4.2. Spektralni indeksi .....	35
4.2.1. Vegetacijski indeks normalizirane razlike .....	35
4.2.2. Zeleni vegetacijski indeks normalizirane razlike .....	36
4.2.3. Vegetacijski indeks prilagođen tlu .....	36
4.2.4. Vegetacijski indeks lisne površine .....	36
5. ZAKLJUČAK .....	38
6. POPIS LITERATURE .....	39

7. SAŽETAK.....	48
8. SUMMARY .....	49
9. POPIS TABLICA.....	50
10. POPIS SLIKA .....	51

## 1. UVOD

Razvoj čovječanstva uvjetovao je i razvoj ostalih djelatnosti tijekom povijesti pa sve do danas. Tako je nastala potreba velike proizvodnje kako bi prehranili mnogobrojno stanovništvo. Kako smo kao čovječanstvo počeli gledati prema svemiru i slati satelite za istraživanje svemira sinulo nam je da bi iste te satelite mogli upotrijebiti i u poljoprivredi, ali i u ostalim djelatnostima poput očuvanja i zaštite prirode, navođenja u smislu globalnog pozicijskog sustava, proučavanja utjecaja klime i atmosfere na Zemlju, proučavanje oceana i dr. Pomoću mnogobrojnih računalnih sustava, senzora, satelita, ljudi i resursa na Zemlji osmišljeno je daljinsko istraživanje kako bi brže i bolje mogli proučavati Zemlju kao cjelinu, maksimalno iskoristiti pogodnosti koje nam se pružaju i povećati proizvodnju u svakom spektru djelatnosti. Stoga, primjena nije samo u poljoprivredi i očuvanju okoliša već je dosegla nezamislivu širinu.

Daljinsko istraživanje odnosi se na znanost o identifikaciji značajki zemljine površine i procjeni njihovih geo-biofizičkih svojstava korištenjem elektromagnetskog zračenja kao medija interakcije. Spektralni, prostorni, vremenski i polarizacijski potpisi glavne su karakteristike senzora/cilja koje olakšavaju diskriminaciju cilja. Podaci o Zemljinoj površini kako ih vide senzori na različitim valnim duljinama (reflektirani, raspršeni i/ili emitirani) radiometrijski su i geometrijski ispravljeni prije izdvajanja spektralnih informacija. (Roy i Behera, 2000; Roy i Tomar, 2000.)

Daljinsko istraživanje može se definirati kao proces mjerenja fizičkih svojstava udaljenih objekata pomoću reflektirane ili emitirane energije (Moore, 1979.), odnosno znanost je o dobivanju i tumačenju informacija s udaljenosti, pomoću senzora koji nisu u fizičkom kontaktu s promatranim objektom. (Jensen, 1996.)

Podaci daljinskog istraživanja također pomažu u razvoju boljeg geografskog informacijskog sustava (GIS) koji se zauzvrat može koristiti za obrazovanje, upravljanje zemljištem, upravljanje prirodnim resursima, okoliš i zrakoplovne primjene. Vladine organizacije također otvaraju vlastiti portal za pružanje podataka običnim građanima. Neke od glavnih tema operativnih aplikacija u kojima je Indija intenzivno koristila podatke daljinskog istraživanja su poljoprivreda, šumarstvo, bioraznolikost, ciljanje podzemnih voda, vodni resursi, korištenje zemljišta, urbano širenje, geologija, okoliš, obalna zona, morski resursi, snijeg i ledenjak, praćenje i ublažavanje katastrofa, razvoj infrastrukture. (Behera, 1999.)

Integracija različitih vrsta podataka daljinskog istraživanja, zajedno s pomoćnim podacima iz različitih izvora, pokreće mnoga nova znanstvena istraživanja u rasponu od procjene šumske biomase do kartiranja površine Marsa za pronalaženje minerala. (Anderson, 2010; Behera i sur., 2015; Roy i Ravan, 1996.)

Na satelitima ili drugim nosačima se nalaze senzori koji mogu biti pasivni ili aktivni. Dok pasivni senzori hvataju reflektiranu sunčevu svjetlost od Zemljine površine, aktivni odašilju svjetlost do objekta, a reflektirani dio se hvata i registrira. Svaki senzor djeluje u određenom elektromagnetskom spektru ovisno o njegovoj namjeni. Gillespie i sur. (2007.) predstavili su pregled novijih satelita s pasivnim sensorima koji daju pankromatske, vidljive, bliske infracrvene, kratkovalne infracrvene i toplinske infracrvene informacije prikladne za daljinsko otkrivanje opasnosti. Koriste se za mjerenje temperature površine kopna i mora, svojstva vegetacije, te svojstva oblaka i aerosola. Aktivni senzori su korisni za mjerenje vertikalnih profila aerosola, strukture šume, oborina i vjetrova, topografije morske površine i leda, između ostalog. Većina ih radi u mikrovalnom pojasu elektromagnetskog spektra što im omogućuje prodiranje u atmosferu.

Nekoliko autora dalo je sektorske preglede različitih tipova senzora. Prije desetak godina, Melesse i sur. (2007.) pregledali su povijest daljinskog istraživanja i razvoj različitih senzora za kartiranje okoliša i prirodnih resursa te prikupljanje podataka u Međunarodnom časopisu za daljinska istraživanja. Goetz (2009.) je raspravljao o razvoju hiperspektralnih senzora u zraku i svemiru i tehnikama analize podataka tijekom posljednjih 30 godina te ukazao na trenutna ograničenja i buduće potrebe. CubeSats-om su se, između ostalih, bavili Sandau (2010.) i Cracknell (2010.).

Također je važno napomenuti orbite na kojima su smješteni sateliti. Svaki satelit ima određenu zadaću, pa se tako razlikuju i orbite po kojima sateliti putuju. Postoje tri različite orbite: niska, srednja i visoka orbita Zemlje. Niska orbita se nalazi na visini od 160 do 2000 km dok se visoka orbita nalazi iznad 35,500 km. Sateliti na niskoj orbiti mogu pratiti nekoliko orbitalnih staza. Senzori na satelitima u polarnoj orbiti pokrivaju cijeli globus, uključujući i polarne regije, a primjer takvog satelita je NASA-in satelit *Aqua*. Nepolarni sateliti pokrivaju samo djelomičan raspon zemljopisnih širina. Satelitima na srednjoj orbiti je potrebno 12 sati da dovrši orbitu, te je vrlo dosljedna i predvidljiva. Orbitu najčešće koriste telekomunikacijski i GPS sateliti, na primjer Galileo. Na visokoj orbiti se nalaze geostacionarni sateliti. Specifični su za jedno područje te snimaju identične poglede na

Zemlju pri svakom promatranju. Primjer ovakvog satelita je geostacionarni operativni ekološki satelit.

Primjene daljinskih istraživanja u poljoprivredi napredovale su do stupnja u kojem se informacije iz slika daljinskih istraživanja koriste za brojne odluke na razini politike koje se odnose na sigurnost hrane, smanjenje siromaštva i održivi razvoj. Odluka o rezervnoj zalihi prehrambenih žitarica mogla bi se temeljiti na površini usjeva prije žetve i procjenama proizvodnje, dok karte potencijala podzemne vode služe kao glavni izvor informacija u osiguravanju pitke vode i drugih potreba u kišnim i manje povoljnim područjima. Kartiranje korištenja zemljišta, zemljišnog pokrova, tla i pustoši diljem zemlje pomoglo je u širenju i intenziviranju poljoprivrednih aktivnosti, kao i u identificiranju klasa sposobnosti zemljišta i indeksa prikladnosti usjeva. (Venkataratnam, 2001.)

Prije desetak godina Turner i sur. (2003.) predstavili su pregled senzora dostupnih za neizravno praćenje bioraznolikosti putem izvođenja biofizičkih parametara, a Wang i sur. (2010.) pregledali su svemirska daljinska istraživanja za studije ekologije, bioraznolikosti i očuvanja, uglavnom se fokusirajući na senzore visoke rezolucije, hiperspektralne, lidarske i male CubeSat senzore.

Dosadašnji glavni politički i gospodarski izazov još uvijek je osigurati slobodan i otvoren pristup podacima i proizvodima koji se očitavaju na daljinu kako bi se podržala primjena takvih podataka za mnoge različite discipline. (Turner i sur., 2013.)



## 2. SATELITSKE MISIJE DALJINSKIH ISTRAŽIVANJA

### 2.1. Vrste satelitskih misija i njihova svrha

Kada govorimo o satelitskim misijama, u današnje vrijeme, postoje mnogobrojni sateliti koji se primjenjuju u različite svrhe pa im je i podjela raznolika. Osnovne vrste satelita su sateliti otvorenih podataka, komercijalni sateliti, meteorološki sateliti, geodetski sateliti i sateliti za proučavanje oceana.

Do danas su dizajnirani i napravljeni razni sateliti, no, najpoznatiji su Landsat te Sentinel. Landsat uz svoju dugovječnost arhivira povijest Zemlje više od 40 godina. Kao nadogradnja Landsat-u, zasluge pripadaju satelitu iz skupine Sentinel, Sentinel-2, uz jedan nedostatak, satelit je bez termalnog pojasa. Postoje još razni sateliti koje svrstavamo u ovu skupinu, a to su Terra, EnviSAT, Corona, Earth Observing 1, Kinesko-brazilski satelit zemaljskih resursa, te PROBA.

Svaki od ovih satelita ima zajedničku namjenu, ali se isto tako i razlikuju u pojedinim svrhama. Terra satelit stručnjak je za dosta zanata. Unatoč popularnom uvjerenju da je MODIS satelit, zapravo je instrument na satelitu za klasifikaciju zemljišnog pokrova. Terra još sadrži i instrumente koji modeliraju teren, te prate kvalitetu zraka. EnviSAT je prije nego što je izgubio kontakt, proučavao oceane, teren i atmosferu. Na žalost, zbog svog masivnog okvira od 8 tona uklonjen je iz atmosfere. Satelit Corona je trenutno vrlo važan za arheologe i druge interesne skupine koji koriste deklasificirane slike (Slika 1). Prethodno je bio strateški vojni satelit korišten za špijunažu Sovjetskog saveza. (GISGeography, 2020.)



Slika 1. Corona satelit

(Izvor: <https://gisgeography.com/earth-satellite-list/>)

CBERS je nastao udruživanjem Kine i Brazila u zajedničku misiju za praćenje okoliša, poljoprivrede, onečišćenja vode i urbanog planiranja u svojim zemljama. PROBA je mikro satelit s hiperspektralnim podacima od 30 metara koji je, svojim kutevima gledanja, izradio svjetski poznatu globalnu arhivu vegetacije.

Komercijalni sateliti snimaju slike visoke rezolucije, od 30 cm do 5 metara. U ovu skupinu ubrajamo Worldview satelit, IKONOS, PlanetScope, Quickbird, KOMPSAT, Pleiades, GeoEye, SkySat i dr. Worldview je satelit koji snima slike rezolucije do 31 cm, te je jedini komercijalni satelit koji može isporučiti slike u ovoj rezoluciji. Po rezoluciji mu je mogao dosta dobro parirati satelit Quickbird koji je snimao slike rezolucije 60 cm, no 2015. godine je povučen iz uporabe. Pravo satelitsko čudo u svoje vrijeme bio je IKONOS, koji je bio i prvi komercijalni satelit sa licencom u Americi. Svoj neuspjeh je doživio satelit IKONOS-1 koji nije stigao u svemir, no to je pošlo za rukom satelitu IKONOS-2, te je kasnije preimenovan u IKONOS. (GISGeography, 2020.)

GeoEye 1 i 2 satelite je stvorila istoimena tvrtka iz Dullesa u SAD-u, a kasnije ih je otkupio DigitalGlobe. Sateliti posjeduju veliku mogućnost razlučivanja objekata, GeoEye 1 u mogućnosti je razlučiti predmete manje od 40 cm dok GeoEye 2 ima mogućnost razlučivanja objekata čak manjih od 20 cm. (Tumpić, M., 2009.) Krasi ga njegova oštrina i koriste ga ekolozi koriste za praćenje životinjske populacije. Google također ima prava na slike pa se koriste i u Google kartama.



Slika 2. GeoEye

(Izvor: <https://gisgeography.com/earth-satellite-list/>)

Praćenje meteoroloških promjena je od velike važnosti za život na Zemlji. Danas možemo predviđati vremenske uvijete koji su vrlo bitni za razvoj poljoprivrede pa tako i čovječanstva. Za sve to su zaslužni, kako ljudski aspekti tako i sateliti koji orbitiraju oko Zemlje. Sateliti

nam svakodnevno daju informacije o strukturi oblaka, pregled vremenskih i okolišnih uvjeta, upozorenja o mogućim nepogodama, isto tako i utjecaj atmosferskih uvijeta na površinu Zemlje. Najpoznatiji sateliti su TRMM za ispitivanje oborina i NOAA za pregled vremenskih i okolišnih uvjeta.

Pod geodetske satelite ubrajamo Globalni navigacijski satelitski sustav (GNSS) koji se sastoji od svemirskog, kontrolnog i korisničkog segmenta. Zadaća mu je pozicioniranje, navigacija i određivanje vremena, a svoju funkciju obavlja pomoću velikog broja satelita koji kontinuirano odašilju podatke. Također u ovu skupinu ubrajamo i SRTM. Svemirski šatl *Endeavour*, koristeći dvije radarske antene i interferometriju, izradio je 30-metarski terenski model Zemlje u samo 11 dana prikupljanja podataka.

Oceani su od velike životne važnosti za čovječanstvo i svaka promjena, pozitivna ili negativna, vrlo je bitna te bi se trebala zabilježiti. Klimatske promjene, odnosno porast temperature, otapanje ledanjaka kao i utjecaj čovjeka jako puno utječu na oceane. Kako bi imali bolji pregled, sigurne podatke i informacije o tim promjenama, služe nam sateliti, tj uređaji i alati postavljeni na satelite.

Stoga u ovu skupinu ubrajamo SeaStar (Slika 3), satelit čiji je senzor širokog vidnog polja SeaWIFS ključan za biologiju mora. Najčešće ga koriste biolozi za kvantificiranje promjene boje klorofila kojega proizvode biljke.



Slika 3. SeaStar

(Izvor: <https://gisgeography.com/earth-satellite-list/>)

### 2.1.1.Orbite i izvori podataka

Orbita je putanja zakrivljena uslijed gravitacije kojom putuje objekt u svemiru oko drugog objekta. Kako bi se postigla orbita, objekt mora imati dovoljno veliku brzinu okomitu na silu gravitacije, na takav način da se tlo izmakne prije nego što objekt stigne pasti natrag. (The European Space Agency, 2020.)

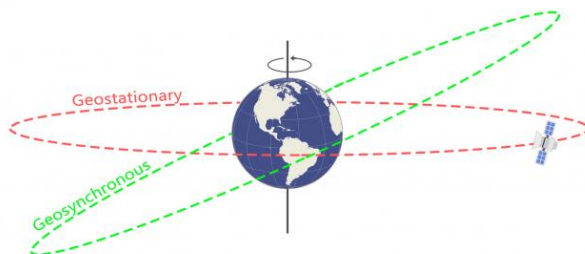
Najosnovnija podjela je prema visini gdje orbite mogu biti niske, srednje i visoke. Satelite svrstavamo u dvije skupine, oni koji kruže oko ekvatora i sateliti koji kruže od pola do pola. Na primjer, u polarnoj orbiti (Slika 4) se nalaze Landsat, Worldview i Sentinel-2. To znači da se nalaze na nižim visinama u većini slučajeva. Često se ova vrsta satelita koristi za praćenje usjeva, šuma, ponekad i za globalnu sigurnost.



Slika 4. Polarna orbita

(Izvor: <https://gisgeography.com/polar-orbit-sun-synchronous-orbit/>)

Pod visoke orbite spadaju geostacionarna i geosinkrona orbita čije se putanje vide na slici (Slika 5). Razlika između ovih orbita je u tome da se kod geosinkrone orbite satelit, iako ostaje na jednoj geografskoj dužini, može kretati od sjevera prema jugu te rotira istom brzinom kao i Zemlja oko svoje osi.



Slika 5. Geostacionarna i geosinkrona orbita

(Izvor: <https://gisgeography.com/polar-orbit-sun-synchronous-orbit/>)

S obzirom na visoku orbitu, sateliti u srednjoj orbiti kreću se brže jer su i bliže Zemlji. Potrebno im je 12 sati da dovrše orbitu, što znači da u 24 sata satelit prijeđe dva puta preko iste točke. Značajne su dvije srednje Zemljine orbite: polusinkrona orbita i orbita Molniya. Polusinkrona orbita po obliku spada u kružu orbitu i nalazi se na 20200 kilometara visine. Orbita je koju koriste sateliti globalnog pozicijskog sustava. (NASA earth observatory, 2022.)

Postoji više izvora pomoću kojih su nam dostupne satelitske snimke (Slika 6), i to besplatno. Podaci Landsata Geološkog instituta Sjedinjenih Država (USGS) jedan su od najboljih izvora za kartiranje i praćenje biofizičkih i geofizičkih svojstava zemljišnog pokrova i površine kopna u posljednjih 40 godina (Hansen i Loveland, 2012; Wulder i sur., 2012.). Isto tako su nam dostupne snimke špijunskog satelita Corona, naravno nakon deklasifikacije i puštanja u javnost, te su dostupne još i hiperspektralne slike. Sve u svemu, jako je dobar izvor podataka svjetske klase.



Slika 6. Earth Explorer stranica

(Izvor: <https://gisgeography.com/free-satellite-imagery-data-list/>)

Earth Explorer dio je USGS-a koji služi za dobivanje skupova geo-prostornih podataka. Korisnici mogu dobiti satelitske snimke Landsat, radarske podatke, podatke UAS-a, digitalne linijske grafikone, podatke o digitalnom modelu visina, zračne fotografije, Sentinel snimke, komercijalne satelitske snimke poput IKONOS i OrbView3, podatke o kopnu, digitalne kartografske podatke iz nacionalne karte i još mnogo toga. (USGS, 2022.)

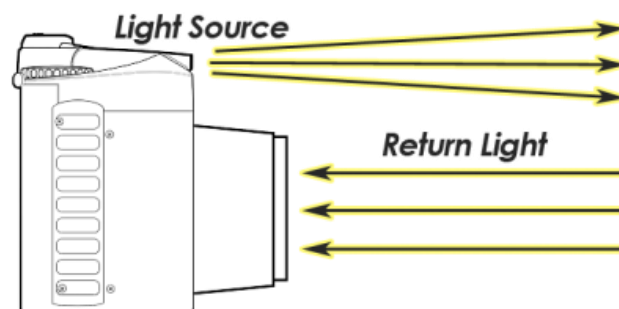
DigitalGlobe Open Data Program daje pristup snimkama rezolucije i do 30 cm, ali nisu sve besplatne. Pogotovo ako se radi o tako visokoj rezoluciji gdje se mogu vidjeti registarske oznake. Postoje dva načina kako se besplatno mogu preuzeti satelitske snimke ove rezolucije. Prvi primjer je kod prirodnih katastrofa gdje DigitalGlobe Open Data Program isporučuje snimke kao pomoć kod požara, poplava, potresa itd. Drugi način je da se sa njihovih uzoraka slika preuzmu otisci zgrada, visina i slike u stvarnim bojama.

Postoji još dosta izvora podataka koji nam koriste u svakodnevnicu, od istraživanja do civilne svrhe. Pogodnost je velika jer nam svakodnevnim snimanjima i obradom tih podataka, te predodžbom podataka u digitalnom obliku olakšavaju rad i razvoj u raznim disciplinama. Posebno kada su nam snimke besplatne, jer imamo veći pristup informacijama i podacima kako bi lakše razumjeli naš planet i omotač oko njega.

### 2.1.2. Zajedničke karakteristike

Svaki satelit, koji je poslan u atmosferu, ima određene karakteristike i svrhu koja se razlikuje od prethodnog ili sljedećeg satelita. No, svi sateliti imaju senzore kojima očitavaju ili mjere zbivanja na Zemlji ili u atmosferi. Pa tako postoje aktivni i pasivni senzori što sam u uvodu veći napomenuo, no, način na koji rade je zanimljiv. Možemo objasniti na primjeru fotoaparata sa i bez bljeskalice.

Kada snimamo fotografiju sa uključenom bljeskalicom, kamera (Slika 7) šalje vlastiti izvor svjetlosti koji se od osvijetljenog objekta vraća nazad u objektiv kamere i leća ga kao takvog uhvati i registrira. Stoga su kamere sa uključenom bljeskalicom aktivni senzori, što mogu biti i avioni, sateliti ili helikopteri, sve dok imaju vlastiti izvor osvjjetljenja i kameru koja snima povratnu energiju.



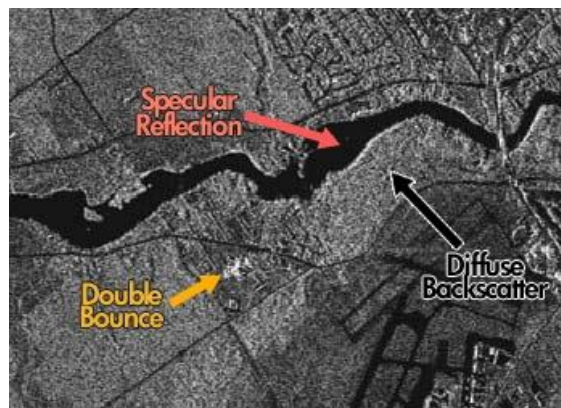
Slika 7. Kamera kao aktivni senzor

(Izvor: <https://gisgeography.com/passive-active-sensors-remote-sensing/>)

U drugu ruku, pasivni senzori izvor osvjjetljenja dobiju od sunca. Isto kao kada bi fotograf snimao nekakav objekt ili prirodu samo bez uključene bljeskalice jer mu je sunce sasvim dovoljno za savršenu fotografiju. Dakle, bez sunca kao izvora svjetlosti, nebi ni bilo pasivnog daljinskog istraživanja.

Da bi bolje razumjeli način rada senzora moramo zaroniti dublje u tematiku i bolje objasniti princip svjetlosti vlastitog izvora i sunčeve svjetlosti. Kada sunce obasja površinu ili objekt, svjetlost prvo prolazi kroz atmosferski prozor. Onda se odbija od Zemlju i dolazi do senzora na satelitu koji orbitira oko Zemlje. Kod aktivnih senzora, senzor šalje vlastiti puls na Zemlju, odbijajući se prvo od tla. Zatim se odbija od zgradu i vraća se na senzor. Ovakvo raspršivanje se naziva dvostruko povratno raspršivanje.

Kod aktivnog daljinskog istraživanja (Slika 8), snimka nam se vraća u crno-bijelim pikselima. Osobi koja ne razumije ovakvo snimanje je bezvezna, ali u pozadini postoji nešto drugo što ću prikazati na slici.



Slika 8. Snimka aktivnog daljinskog istraživanja

(Izvor: <https://gisgeography.com/passive-active-sensors-remote-sensing/>)

Zrcalni odraz je mjesto gdje su tamne mrlje na slici koje predstavljaju glatku površinu rijeke i popločane površine. Svijetlo bijelo u sredini predstavlja dvostruko odbijanje, odnosno urbano obilježje poput zgrade. Dok difuzno raspršenje predstavlja rastuću vegetaciju u poljoprivrednim područjima.

Postoji više vrsta štetnog zračenja i većinu toga zračenja blokira gornji sloj atmosfere. Tu spadaju gama zrake, x-zrake te veći dio ultraljubičastog zračenja. Da bi svjetlost došla do Zemlje mora proći kroz „atmosferski prozor“. No što je atmosferski prozor i zašto je važan? Ovo mogu objasniti na principu zavjese i rupa u zavjesi. Zamislite si zavjesu punu rupa. Zavjesu čine plinovi koji se nalaze u atmosferi poput ozona, ugljikovog dioksida, vodene pare i drugih plinova. Rupe su „prozor atmosfere“. Zavjesa blokira određene valne duljine poput gama zraka i ove valne duljine su poznate kao „apsorpcijski pojasevi“. Kroz rupe mogu proći samo određeni pojasevi svjetla do površine Zemlje, poput vidljive i bliske infracrvene svjetlosti. Dakle, atmosferski prozor je dio elektromagnetskog spektra koji slobodno prolazi

kroz atmosferu, dok je apsorpcijski pojas dio elektromagnetskog spektra koji je blokiran. Stoga kod dizajniranja senzora inženjeri moraju imati na umu atmosferski prozor, odnosno da bi znali koje spektralne pojaseve senzori mogu vidjeti. (GISGeography, 2022.)

## 2.2. Landsat

Do danas je lansirano 9 satelita u orbitu, a uspješnih misija je bilo 8. Sve snimke su dostupne preko USGS Earth pretraživača. Nevjerojatan program koji predstavlja najveću arhivu na našem planetu. Zajedničkim snagama, NASA je zaslužna za lansiranje, dok je za rad, primanje i arhiviranje podataka zaslužan američki Geološki zavod. Davne 1972. godine lansiran je prvi satelit iz serije Landsat koji je izvorno bio nazvan ERTS (Earth Resources Technology Satellite), te je zbog svog uspješnog djelovanja otvorio put budućim satelitima.

Landsat-1 bio je pionir u korištenju svemirskih platformi za sustavno prikupljanje slika Zemlje (Short i sur., 1976.). Ova ponavljajuća mjerenja proizvela su virtualnu revoluciju u zemaljskim istraživanjima, otkrivajući važnost srednje do visoke prostorne razlučivosti, multispektralnih mjerenja za praćenje biosferskih procesa i pokazujući vrijednost praćenja sezonske i međugodišnje evolucije uvjeta zemljišnog pokrova bilo gdje na kugli zemaljskoj (Kauth i Thomas, 1976; McDonald i Hall, 1980; Tucker, 1979.). Prva tri satelita iz serije Landsat sadržavali su crveni, zeleni i dva bliska infracrvena pojasa te rezoluciju od 60 m. Treći se razlikovao po tome što je sadržavao i termalni pojas, koji je ubrzo nakon lansiranja otpao.

Četvrti po redu satelit je bio nešto drugačiji od prethodnih. Lansiranjem Landsat-4 u srpnju 1982. predstavljen je novi senzor Thematic Mapper (TM) (Salomonson, 1984.). Landsat-6 je satelit koji nije stigao u svoju orbitu zbog puknutog razdjelnika. 7. satelit programa Landsat je sadržavao instrument, Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) koji je dodao pankromatski pojas od 15 m rezolucije.

Sljedeći satelit u seriji je nastavak na Landsat-7 program. Naslijedio je karakteristike prethodnog satelita sa 2 instrumenta uz dodatne spektralne pojaseve; obalni, cirus i TIR. Postoje 2 senzora na Landsat-8 satelitu: OLI i TIRS. Operational Land Imager proizvodi 9 spektralnih pojaseva pri rezoluciji od 15, 30 i 60 m dok se Thermal Infrared Sensor sastoji od dva toplinska pojasa s prostornom rezolucijom od 100 m.



Landsat-9 je lansiran iz Kalifornije 2021. godine te će produžiti vijek trajanja Landsat programa. Kopija je prethodnog satelita uz dodatnu nadogradnju toplinskog senzora koji je nadograđen na TIRS-2

Tablica 1. Oznake frekvencijskog pojasa Landsat satelita

(Izvor: <https://gisgeography.com/landsat-8-bands-combinations/>)

Broj pojasa	Opis	Valna duljna	Rezolucija
1	Obalni	0.433 to 0.453 $\mu\text{m}$	30 m
2	Vidljivi plavi	0.450 to 0.515 $\mu\text{m}$	30 m
3	Vidljivi zeleni	0.525 to 0.600 $\mu\text{m}$	30 m
4	Vidljivi crveni	0.630 to 0.680 $\mu\text{m}$	30 m
5	Bliski infracrveni	0.845 to 0.885 $\mu\text{m}$	30 m
6	Kratkovalni infracrveni-1	1.56 to 1.66 $\mu\text{m}$	30 m
7	Kratkovalni infracrveni-2	2.10 to 2.30 $\mu\text{m}$	60 m
8	Pankromatski	0.50 to 0.68 $\mu\text{m}$	15 m
9	Cirus	1.36 to 1.39 $\mu\text{m}$	30 m
10	Dugi infracrveni	10.3 to 11.3 $\mu\text{m}$	100 m
11	Dugi infracrveni	11.5 to 12.5 $\mu\text{m}$	100 m

Pojaseve možemo rasporediti na način da izvučemo nove i jedinstvene informacije pogotovo kod izdvajanja spektralnih potpisa objekata na slici. Kompozit prirodnih boja (Slika 9) koristi crveni, zeleni i plavi pojas.



Slika 9. Kombinacija pojaseva 4, 3, 2

(Izvor: <https://gisgeography.com/landsat-8-bands-combinations/>)

Na slici možemo vidjeti da je zdrava vegetacija označena zelenom, a nezdrava smeđom. Voda je označena tamnoplavom ili crnom bojom, dok su urbane značajke označene bijelom ili sivom bojom.

U poljoprivredi se koriste kombinacije kratkovalnog infracrvenog, bliskog infracrvenog i plavog pojasa (Slika 10). Ova kombinacija pojaseva se koristi za praćenje vegetacije zbog kratkovalnog i bliskog infracrvenog pojasa gdje se zdrava vegetacija predstavi tamno zelenom dok se zemlja pojavi u magenta nijansi.



Slika 10. Kombinacija pojaseva 6, 5, 2

(Izvor: <https://gisgeography.com/landsat-8-bands-combinations/>)

### 2.2.1. Primjena

Mjerenja atmosferske kemije i modeli globalnog klimatskog sustava sugeriraju da je došlo do promjena u Zemljinom sustavu tijekom prošlog stoljeća. Te se promjene nastavljaju i danas i mogu promijeniti okolišne uvjete tijekom sljedećeg stoljeća. (Hansen, 2004.)

Rana istraživanja koja su koristila podatke Landsata pokazala su važnost mjerenja spektralnog vegetacijskog indeksa kao evidencije vegetacijskih uvjeta (Jackson, 1983; National Research Council, 1986; Tucker, 1979.). Ovaj indeks gustoće zelenog lišća temeljni je atribut krajolika, koji opisuje apsorpciju sunčeve svjetlosti, fotosintetski kapacitet i stope isparavanja. Ovi fizički i biološki procesi primarni su deskriptori načina na koji uvjeti kopna moduliraju Zemljin sustav (Sellers i sur., 1995.).

Budući da šume čine jednu trećinu kopnene površine Zemlje (MacDicken i sur., 2016.), one su glavni regulator ciklusa vode, energije i ugljika, a također i temelj skladištenja ugljika, hlađenja kopnene površine i raspodjela vode (Ellison i sur., 2017). S obzirom da se krčenje šuma odvija velikom brzinom, ono bitno utječe na „zdravlje“ atmosfere, ali i ljudi. Kako su šume važan čimbenik za zdravlje ekosustava i lokalna gospodarstva možemo pratiti ilegalnu sječu, šumske požare te degradaciju šuma.

Kod vodenih resursa možemo puno toga naučiti o zdravlju jezera snimanjem algi koje su pokazatelj količine dušika i fosfora. Isto tako možemo pratiti izlivanje nafte u oceane i pratiti smijer kretanja „naftne mrlje“. No ono što je još važnije je brzo rješavanje takvih problema gdje nam snimke Landsat-a pomažu u velikoj mjeri, upravo iz prethodno navedenih razloga jer su oceani i najveći „proizvođači“ kisika na Zemlji.

### 2.3. Sentinel

Copernicus program je program za promatranje Zemlje osmišljen od strane Europske Unije s ciljem prikupljanja informacija o Zemlji za sve europske građane. Copernicus programom upravlja Europska komisija, a surađuje i s državama članicama Europske Unije, Europskom svemirskom agencijom (ESA), Europskom organizacijom za iskorištavanje meteoroloških satelita (EUMETSAT), institucijama Europske Unije i drugim. Copernicus program djeluje preko satelitske misije Sentinel (Slika 11.). Prvi satelit misije je lansiran 2014. godine i nazvan je Sentinel-1A, a do 2030. godine predviđa se da će čak 20 satelita biti lansirano u svemir. Copernicus program koristi u regionalnom i lokalnom planiranju, zaštiti okoliša, poljoprivredi, šumarstvu, prometu, zdravstvu, upravljanju urbanim područjima i mnogočem drugom. (Programme of the European Union, 2022.) Podatci su besplatni i dostupni kroz cijelu godinu u svako vrijeme. Prethodno poznat kao GMES (Global Monitoring for Environment and Security), program Kopernik služi za rješavanje ekoloških izazova od globalnog zatopljenja do promjene korištenja zemljišta i atmosfere.

Cilj programa Sentinel je zamijeniti starije misije za promatranje Zemlje koje su se povukle, poput misija ERS i Envisat, ili su trenutno pri kraju svog radnog vijeka. Time će se osigurati kontinuitet podataka kako ne bi bilo praznina u studijama koje su u tijeku. (The European Space Agency, 2022.)



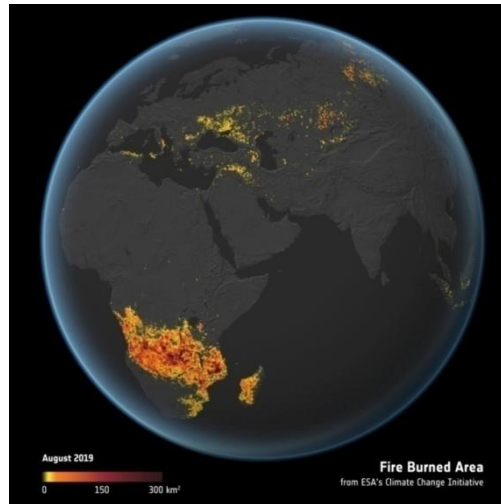
Slika 11. Sentinel misije

(Izvor:

[https://www.esa.int/Applications/Observing\\_the\\_Earth/Copernicus/The\\_Sentinel\\_missions](https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/The_Sentinel_missions))

Sentinel-1 pomoću radara sa sintetičkim otvorom (SAR) vidi i kroz oblake i kroz izmaglicu u bilo koje doba dana ili u svim vremenskim uvjetima. Pri razlučivosti piksela od 9-40 m, C-pojas je u polarnoj orbiti. Funkcionira na način da satelit prvo šalje mikrovalne impulse na Zemlju, puls se odbija i vraća nazad na satelit te senzor pravi sliku od vraćenih odjeka. Pomaže nam u detekciji sitnih promjena vulkanskih aktivnosti te izradi karata poplava za ublažavanje istih. (GISGeography, 2022.)

Sentinel-2 prati kopno multispktralnim instrumentom (Slika 12) koji uključuje obalni, plavi, zeleni, crveni, bliski infracrveni i kratkovalni infracrveni pojas. Promjene su zabilježene u 13 spektralnih pojaseva svakih 5 dana. Kao dio programa Copernic Europske komisije (EC), Europska svemirska agencija (ESA) razvila je i trenutno upravlja misijom Sentinel-2 koja prikuplja optičke slike visoke prostorne rezolucije (10 do 60 m).



Slika 12. Opožareno kopno

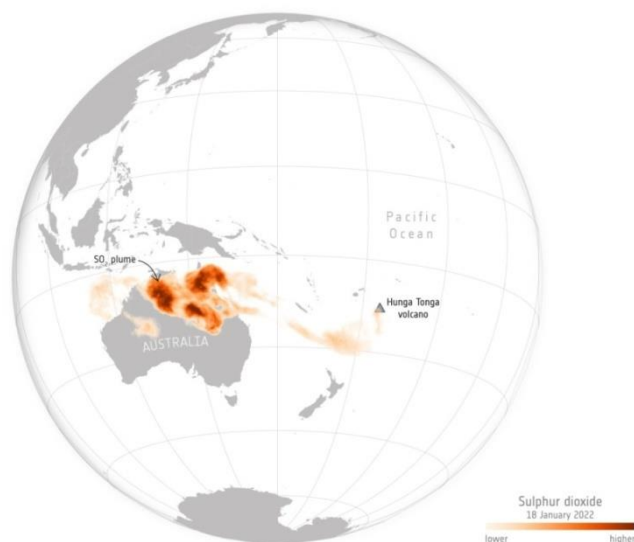
(Izvor:

[https://www.esa.int/ESA\\_Multimedia/Search/\(offset\)/50/\(sortBy\)/published?result\\_type=images&SearchText=sentinel+](https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Search/(offset)/50/(sortBy)/published?result_type=images&SearchText=sentinel+))

Sentinel-3 služi za promatranje oceana uz pomoć Sentinel-6 misije. Točnije, praćenje promjena u temperaturi, boji i visini oceana. Sentinel-3 na rezoluciji od 300-1200 metara ima manje od 2 dana ponovnog posjeta istog područja. Ova rezolucija je idealna za dobivanje slike Zemljinog sustava grijanja i hlađenja iz oceana. (GISGeography, 2022.)

Za razliku od prethodnih satelita, Sentinel-4 neće biti vlastiti satelit nego instrument fiksiran na Meteosat Third Generation-Sounder (MTG-S) satelit u geostacionarnoj orbiti gledajući u određeni dio Zemlje. Misija će omogućavati kontinuirano praćenje sastava Zemljine atmosfere (kemiju atmosfere) (Slika 13) uz rezoluciju od 8 kilometara i vremenom ponovnog posjeta od 1 sata. (The European Space Agency, 2022.)

Preteča satelitske misije, Sentinel-5P, popunjava prazninu u podacima i osigurava kontinuitet podatka između povlačenja satelita Envisat i NASA-ine misije Aura te lansiranja Sentinela-5. Satelit je uspješno lansiran 13. listopada 2017. s kozmodroma Plesetsk u Rusiji. Cilj je izvođenje atmosferskih mjerenja, a odnose se na kvalitetu zraka, ozon, klimatske uvjete i UV zračenje. (The European Space Agency, 2022.)



Slika 13. Širenje SO<sub>2</sub> nakon erupcije vulkana Hunga Tonga

(Izvor:

[https://www.esa.int/ESA\\_Multimedia/Search?SearchText=sentinel+5&result\\_type=images](https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Search?SearchText=sentinel+5&result_type=images))

UVNS instrument je spektrometar koji prati atmosferu na MetOp satelitu druge generacije. Prati onečišćenje zraka u atmosferi iz Sunčano sinkrone orbite. Točnije, snima ozon, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, aerosol i plinove u tragovima. Ima široku razlučivost od 7 do 50 km, te samim time i kratko vrijeme ponovnog posjeta od 1 dana.

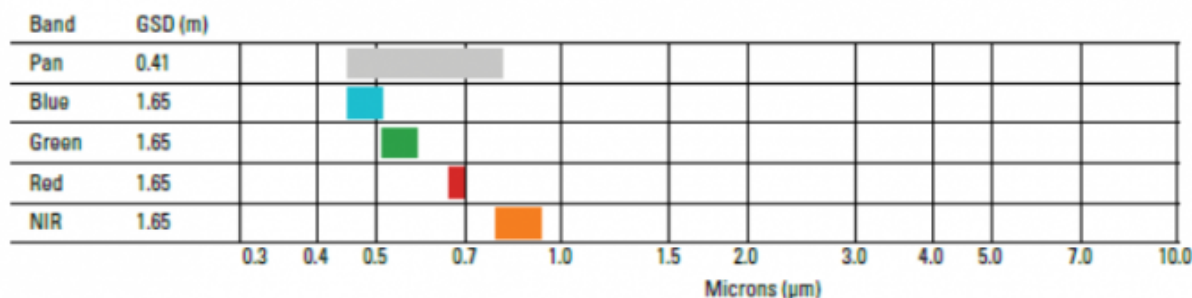
#### 2.4. DigitalGlobe

DigitalGlobe (MAXAR), bivši WorldView, Inc, američki je komercijalni pružatelj svemirskih slika i geoprostornog sadržaja, kao i operater civilnih svemirskih letjelica za daljinska istraživanja. (Sky Brokers, 2022.)

Satelitske snimke DigitalGlobe-a nam omogućuju Worldview, GeoEye i IKONOS sateliti.

Worldview satelit stvara slike visoke rezolucije do čak 31 cm u 8 spektralnih pojaseva. Koliko su slike uistinu dobre možemo provjeriti na DigitalGlobe Open Data Program koji je pomogao u gašenju šumskih požara, pomoći od uragana i procjeni štete od potresa. Slike puštaju u javnu domenu pod licencom Creative Commons 4.0

Naposlijetku su iz DigitalGlobe-a nabavili satelit GeoEye. Sastoji se od 5 pojaseva (Slika 14): pankromatski, plavi, zeleni, crveni i bliski infracrveni. Pankromatski pojas je rezolucije 41 cm, dok su multispektralni pojasevi rezolucije 1,65 metara.



Slika 14. Rezolucije i valne duljine pojaseva GeoEye-a

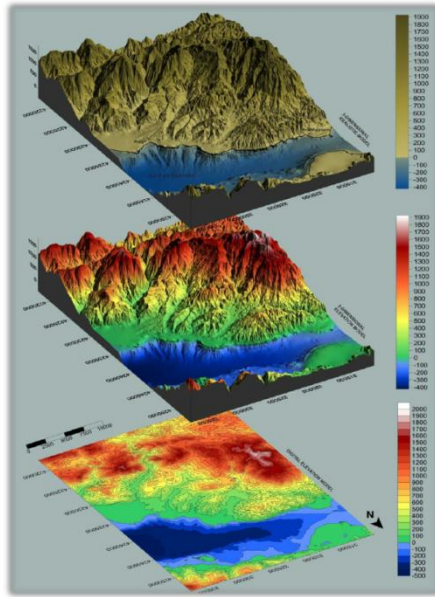
(Izvor: <https://gisgeography.com/digitalglobe-satellite-imagery/>)

Prvi satelit sa komercijalnom licencom bio je IKONOS koji isporučuje multispektralne slike od 4 metra i pankromatske od 1 metra. IKONOS 2 je preimenovan u IKONOS jer IKONOS 1 nikada nije stigao u svemir. 1999. godine je bio pravo satelitsko čudo. QuickBird je također bio satelit za prikupljanje podataka u domeni DigitalGlobe-a, ali je 2015. povučen iz uporabe. Snimao je pankromatske slike rezolucije 61 cm, a multispektralni pojasevi bili su rezolucije 2,4 m.

## 2.5. SRTM

Radarska topografska misija koja snima Zemlju na 1 lučnoj sekundi, odnosno, 30 metara (>80% Zemlje). Svemirski brod Endeavour nosač je za SRTM. U 11 dana trajanja misije obiđe Zemlju 16 puta. Digitalni model elevacije (DEM) Zemlje napravi koristeći radar sa sintetičkim otvorom i interferometriju. Razlučivost se dosta poboljšala od 2014. kada je bila 90 metara, odnosno 3 lučne sekunde. Iste su godine Sjedinjene Države objavile da će javno predati svoje podatke koje možemo preuzeti kroz USGS Earth Explorer. SRTM se služi inSAR-om. Dvije radarske antene i jedan prolaz generiraju digitalni model elevacije koristeći interferometrijski radar sa sintetskom aperturom. (GISGeography, 2022.)

Digitalni model nadmorske visine je prikaz topografske površine golog tla (gole zemlje) bez drveća, zgrada i bilo kojih drugih površinskih objekata. Digitalni modeli (Slika 15) se stvaraju iz raznih izvora. USGS digitalni modeli su se primarno izvodili iz topografskih karata. Oni se sustavno zamjenjuju digitalnim modelima izvedenim iz lidara visoke rezolucije i IfSAR-a (samo za Aljasku). (USGS, 2022.)



Slika 15. Prikaz digitalnog modela elevacije proučavane površine

(Izvor: [https://www.researchgate.net/figure/Digital-Elevation-Model-DEM-3D-Elevation-Model-and-3D-Realistic-Model-of-the-combined\\_fig1\\_268214401](https://www.researchgate.net/figure/Digital-Elevation-Model-DEM-3D-Elevation-Model-and-3D-Realistic-Model-of-the-combined_fig1_268214401))



### 3. SENZORI DALJINSKIH ISTRAŽIVANJA

Senzor je uređaj većinom malih dimenzija i izuzetnih tehničkih karakteristika koji je dizajniran za obradu mjerenih fizikalnih veličina u električne signale.

Suvremeni poljoprivredni senzori mogu mjeriti: vremenske uvjete, količinu osvjetljenja, količinu radijacije, količinu gnojiva, razlike u rastu usjeva. Većinom noviji poljoprivredni senzori mjere više stvari odjednom te imaju dugotrajne baterije i mogućnosti stalnih napajanja. (Biočić, 2020.)

#### 3.1. Multispektralni senzori

Standardni vizualni senzor prikuplja crvene, zelene i plave valne duljine svjetlosti. Multispektralni senzori prikupljaju ove vidljive valne duljine kao i valne duljine koje su izvan vidljivog spektra, uključujući blisko infracrveno zračenje, kratkovalno infracrveno zračenje i druge. (PrecisionHawk, 2022.)

Kada govorimo o sensorima jasno je da postoji mnoštvo koji se koriste u razne svrhe. Glavna razlika između multispektralnih (Slika 16) i hiperspektralnih senzora je u količini pojaseva i u valnim duljinama u kojima operiraju. Najbolji primjer multispektralnog senzora je Landsat-8 koji operira u sljedećim pojasevima (Slika 17), iako ne postoji termalni pojas u tim valnim duljinama jer atmosfera apsorbira svjetlost.

Iako prostorna razlučivost multispektralnih satelitskih senzora otvorenog koda može ograničiti preciznu točnost alata temeljenih na njihovim podacima, njihova točnost i prostorno-vremenska pokrivenost korisni su za mnoge aplikacije upravljanja ekosustavima. (Reschke i Hüttich, 2014; Waldner i sur., 2018.)



Slika 16. MicaSense Altum multispektralni senzor

(Izvor: <https://www.precisionhawk.com/agriculture/multispectral>)

Multispektralni senzori ključni su za zdravlje i upravljanje biljkama. Mogu točno odrediti nedostatke hranjivih tvari, identificirati štetu od štetnika, optimizirati gnojidbu i procijeniti kvalitetu vode. (PrecisionHawk, 2022.)

Multispektralni senzori se dijele na dvije vrste: modificirani i višepojasni.

### 3.1.1. Modificirani multispektralni senzor

Modificirani senzori nastaju postavljanjem filtra na standardni vizualni senzor koji skuplja tri trake svjetlosti odjednom kroz istu leću. Razni filtri omogućuju hvatanje različitih kombinacija spektralnih pojaseva. Najčešći formati žrtvuju jedan od vizualnih pojaseva za snimanje informacija u blizini infracrvenog zračenja. Na primjer, R-G-NIR filter žrtvuje plavu za energiju blisku infracrvenom (~700 - 800 nm). (PrecisionHawk, 2022.)

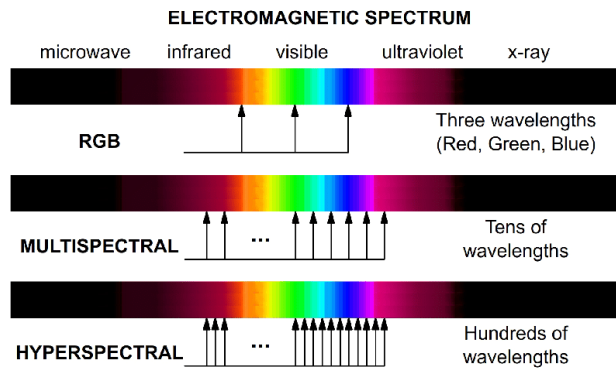
### 3.1.2. Višepojasni multispektralni senzor

Višepojasni senzor istovremeno prikuplja nekoliko pojedinačnih pojaseva umjesto jedne kombinacije tri pojasa, kao kod standardnih ili modificiranih vizualnih senzora. Tamo gdje ćete možda morati letjeti s više letova dronom s različitim modificiranim sensorima za snimanje svih višespektralnih podataka koji su vam potrebni, možete prikupiti sve u jednom letu dronom pomoću višepojasnog senzora. (PrecisionHawk, 2022.)

## 3.2. Hiperspektralni senzori

Hiperspektralno i multispektralno snimanje naširoko se koristi, uglavnom za praćenje okoliša, šumarstvo i poljoprivredu, na primjer, za otkrivanje bolesti usjeva (Moriya i sur., 2021.). Senzor iz blizine ovom vrstom senzora postaje moćna tehnika u ovim područjima (Lu i sur., 2020.). Pojava bespilotnih letjelica (UAV-ova, općenito se nazivaju i dronovi) donijela je nove perspektive za fotogrametriju i daljinsko detektiranje, posebno kada se radi u malim regijama koje zahtijevaju visoke vremenske i spektralne rezolucije. (Colomina i Molina, 2014.)

Glavna razlika između multispektralnih i hiperspektralnih slika je ta da multispektralni senzor koristi 3 do 10 širih pojaseva dok hiperspektralni senzor koristi stotine užih pojaseva. Primjer hiperspektralnog senzora je Hyperion kojeg je NASA instalirala na satelit EO-1 te lansirala 2000. godine. Snimao je slike rezolucije 30 m u 242 spektralna pojasa. Misija koja je trebala trajati 1 godinu je trajala do 2017. kada je ukinuta.



Slika 17. Prikaz elektromagnetskog spektra 3 različita senzora

(Izvor: [https://www.researchgate.net/figure/From-RGB-to-hyperspectral\\_fig2\\_318112943](https://www.researchgate.net/figure/From-RGB-to-hyperspectral_fig2_318112943))

Hiperspektralni senzori mogu prikupiti stotine pojaseva na uskim valnim duljinama. Ova precizna spektralna rezolucija dolazi sa većom cijenom opreme, kompleksnošću, duljim vremenom obrade podataka i većom potrebom za prostorom pohrane podataka. (Mulla, 2013.)

Hiperspektralni senzori (Slika 18) su i dalje najkorišteniji u istraživačke svrhe zbog visoke cijene i kompleksnosti. Multispektralni senzori se poboljšavaju zbog relativno visoke razine ulaganja u istraživanje i razvoj. Kvaliteta podataka se poboljšava, u spoju sa smanjenom cijenom koštanja i kompleksnosti uporabe, rezultira u njihovom velikom porastu uporabe u poljoprivredi. (Van derMerwea i sur., 2020.)



Slika 18. Hyperspec Ext-VNIR hiperspektralni senzor

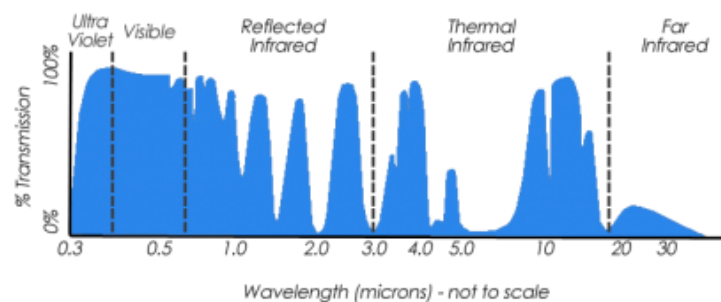
(Izvor: <https://www.headwallphotonics.com/products/ext-vnir-600-1700nm>)

Hiperspektralne i multispektralne tehnologije postaju sve kritičnije u proučavanju okoliša. Mogu se prikupljati podaci o krčenju šuma, degradaciji ekosustava, recikliranju ugljika i sve

nestalnijim vremenskim prilikama. Istraživači koriste prikupljene informacije za izradu prediktivnih modela globalne ekologije, koja pokreće mnoge ekološke inicijative usmjerene na borbu protiv negativnih učinaka klimatskih promjena i ljudskog utjecaja na prirodu. (Unninayar i Olsen, 2008.)

### 3.2.1. Spektralni pojasevi

Naša atmosfera propušta vidljiv dio svjetlosti, ali isto tako i dio svjetlosti koju naše oči ne vide. Zato su osmišljeni senzori koji „hvataju“ tu vrstu svjetlosti. Vidimo (Slika 19) u kojem se elektromagnetskom spektru nalazi određeni dio svjetlosti.



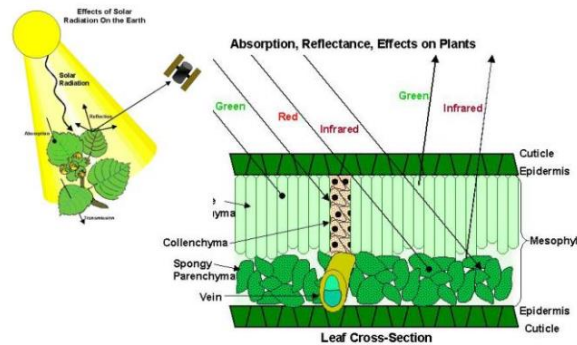
Slika 19. Atmosferski prozor

(Izvor: <https://gisgeography.com/spectral-signature/>)

Na primjer, zdrava vegetacija reflektira zelenu svjetlost više od drugih dok upija crvenu i plavu, stoga ju naše oči i vide kao zelenu. Ali, vegetacija reflektira još više bliskog infracrvenog zračenja koje naše oči ne vide. Zato postoje senzori koji mogu uhvatiti ovaj spektralni pojas.

Zeleni pojas služi za razlikovanje i proučavanje vegetacije jer je u zelenom pojasu istaknut spektralni potpis s površine listova (Slika 20). Plava i crvena refleksija su niske razine zbog klorofila koji ih upija tijekom fotosinteze. Isto nam služi za praćenje algi i cijanobakterija u vodama te nam koristi u urbanoj rekreaciji.

## How plant leaves reflect light



Slika 20. Primjer refleksije svjetlosti

(Izvor: <https://www.slideserve.com/zanna/hyperspectral-remote-sensing>)

Crveni pojas koristi za proučavanje tropskih tala, okoliša i nekih geoloških značajki. Crvena se koristi u formulama vegetacijskih indeksa normaliziranih razlika zbog apsorpcije biljaka crvenog spektra, predviđanje svojstava tla u Australiji koje je dosta crvenkasto zbog željeznog oksida. Za klorofil još koristimo i pojas s crvenim rubom koji je između bliskog infracrvenog i crvenog pojasa. Koristi za pregled zdravlja biljaka i njihov dobni status te praćenje usjeva.

Bliski infracrveni pojas naravno koristi za proučavanje vegetacije jer vegetacija reflektira dosta bliskog infracrvenog spektra. Na primjer, sadržaj biomase, odnosno unutarnja struktura zdravog klorofila koja reflektira blisko infracrveno, vegetacijski indeks normalizirane razlike kojim preciznije izdvajamo vegetacijske razlike i prepoznavanje arheoloških lokacija.

Kratkovalni infracrveni pojas se koristi za proučavanje tla (razlikuje suha od vlažnih), ima sposobnost da prodiere kroz oblake, pa čak i dim i izmaglicu, ako je manji sadržaj vlage u tlu ili vegetaciji refleksija se povećava i istraživanje određenih minerala.

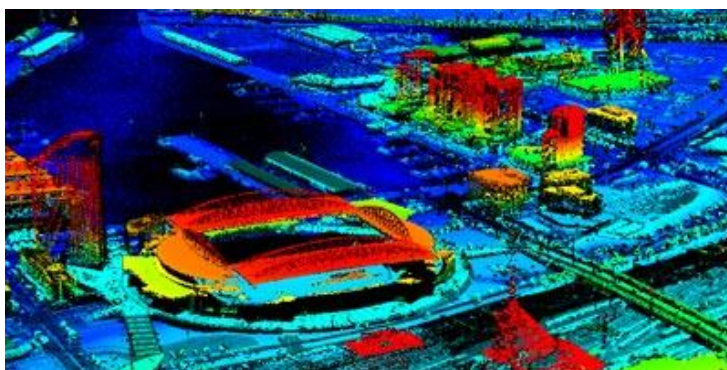
### 3.3. LiDAR

LiDAR tehnologija je aktivni sustav daljinskog očitavanja što znači da sam sustav generira energiju koja će biti svjetlosna u obliku brzog lasera za mjerenje dometa i točne udaljenosti objekta na površini Zemlje. Slično mehanizmu "vremena leta", funkcionira tako da prvo osvijetli metu laserskim svjetlom i mjeri reflektirano svjetlo pomoću senzora gdje se udaljenost objekta zaključuje pomoću brzine svjetlosti kako bi se točno izračunala prijedena udaljenost. Osim toga, razlike u vremenu vraćanja lasera i valnim duljinama zatim se koriste za izradu preciznih digitalnih 3D prikaza (Slika 21) i površinskih karakteristika mete i vizualno mapiranje njegovih pojedinačnih značajki. Uz lasersko povratno vrijeme, LiDAR

može izmjeriti točnu udaljenost u kratkom vremenu s obzirom na brzinu kojom svjetlost putuje. (Yida, 2020.)

LiDAR senzor se sastoji od lasera, skenera i specijaliziranog GPS prijamnika, a formula po kojoj analitičari računaju točnu udaljenost objekta je:

$$\frac{\text{brzina svjetlosti} * \text{vrijeme leta}}{2}$$



Slika 21. Primjer snimke LiDAR senzora

(Izvor: <http://www.photomapping.com.au/airborne-lidar>)

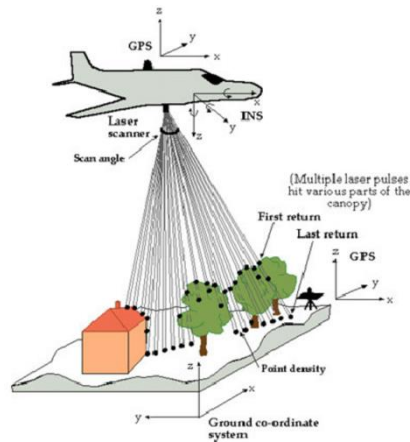
LIDAR ima nekoliko prednosti, uključujući visoku prostornu rezoluciju, visoki protok, visoku ponovljivost i ne ovisnost od osvjetljenja, zbog čega je tehnologija pogodna za terenska okruženja. Što je još važnije kratkovalne laserske zrake mogu prodrijeti u vegetaciju kako bi karakteriziralo strukturu vegetacije. (Jin i sur., 2021.)

Fuzija hiperspektralnih–LiDAR podataka u primjenama u poljoprivredi trendovsko je područje istraživačkog interesa, dok je u velikoj mjeri pod utjecajem sposobnosti LiDAR-a za određivanje raspona, identificiran je opseg za aplikacije molekularne apsorpcije. Na to utječu komplementarni podaci o biokemiji lista i tipu vegetacije za pasivne sustave koji su značajni u otkrivanju bolesti biljaka koje može pružiti LiDAR. (Gaulton i sur., 2013.)

### 3.3.1. Zračni LiDAR senzor

To su bili prvi LiDAR sustavi, razvijeni 1960-ih, uglavnom za aeronautiku i svemirske primjene. Zračni LiDAR-i obično se postavljaju na zrakoplove, helikoptere ili ponekad čak i na satelite za prikupljanje podataka. LiDAR šalje pulsirajuće svjetlosne valove prema površini tla (Slika 22), koji se nakon udara u objekt vraćaju u senzor. Daje točno mjerenje udaljenosti

i ključne informacije o karakteristikama površine. Naravno, ovi LiDAR-i zahtijevaju odašiljače vrlo velike snage za pokrivanje tako velikih udaljenosti, što ih čini vrlo kompliciranom i skupom tehnologijom. (Florian Petit, 2020.)

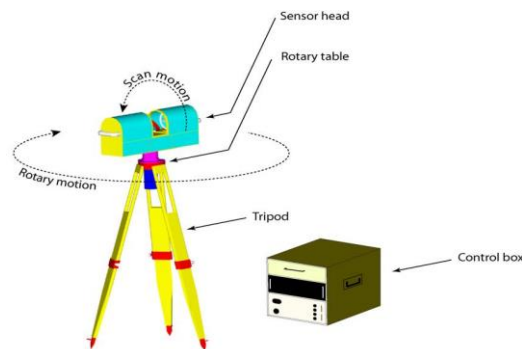


Slika 22. Ilustracija kako funkcionira zračni LiDAR senzor

(Izvor: [https://www.researchgate.net/figure/Illustration-of-Airborne-LiDAR\\_fig1\\_32894099](https://www.researchgate.net/figure/Illustration-of-Airborne-LiDAR_fig1_32894099))

### 3.3.2. Zemaljski LiDAR senzor

Za usporedbu, zemaljski LiDAR-i rade s razine tla (Slika 23) i mogu skenirati objekte u nekoliko smjerova pomoću ogledala umjesto samo skeniranja prema dolje. To im omogućuje skeniranje i doseganje područja nedostupnih LiDAR-ima u zraku. Zemaljski LiDAR-i mogu prikupljati podatkovne točke s visokom preciznošću i gustoćom, što omogućuje vrlo preciznu identifikaciju objekata. Ti se gusti oblaci točaka zatim koriste za identifikaciju vozila, provođenje istraživanja autocesta i željeznica ili stvaranje 3D modela gradova, da spomenemo samo nekoliko primjera. Zemaljski LiDAR sustavi ponovno imaju dvije vrste: statički LiDAR i mobilni LiDAR. (Florian Petit, 2020.)



Slika 23. Primjer zemaljskog LiDAR senzora

(Izvor: <https://sites.bu.edu/lidar/>)

### 3.4. RADAR

Radar se dugo koristi u vojne i nevojne svrhe u raznim primjenama kao što su slike, navođenje, daljinska detekcija i globalno pozicioniranje. (Skolnik, 1970.)

Upotreba SAR-a za daljinsko očitavanje posebno je prikladna za tropske zemlje. Pravilnim odabirom radne frekvencije, mikrovalni signal može prodrijeti kroz oblake, izmaglicu, kišu i maglu te oborine uz vrlo malo prigušenja, čime se omogućuje rad u nepovoljnim vremenskim uvjetima koji onemogućuju korištenje vidljivog/infracrvenog sustava. (Ulaby i sur., 1981.)

Praćenje okoliša, mapiranje zemaljskih resursa i vojni sustavi zahtijevaju snimanje širokog područja visoke rezolucije. Često se te slike moraju snimiti noću ili za vrijeme lošeg vremena—Synthetic Aperture Radar (SAR) pruža takvu mogućnost. Sustavi radara sa sintetičkim otvorom iskorištavaju karakteristike dalekometnog širenja radarskih signala i složenu sposobnost obrade informacija moderne digitalne elektronike za pružanje slika visoke rezolucije. Radar sa sintetičkim otvorom nadopunjuje fotografske i druge mogućnosti optičkog snimanja jer nije ograničen dobom dana ili atmosferskim uvjetima i jedinstvenim odgovorima terena i kulturnih ciljeva na radarske frekvencije. (Sandia National Laboratories, 2022.)

Radar sa sintetičkim otvorom aktivni je senzor koji proizvodi vlastitu energiju, te bilježi količinu energije koja se reflektira od Zemlju. Bitna značajka je valna duljina koja određuje kako radarski signal stupa u kontakt sa površinom i koliko duboko prodire, npr. kod leda li krošnji drveća. Radar sa X-pojasom će imati najmanju prodornost, nakon toga slijedi C-pojas, zatim L-pojas i najveću prodornost će imati P-pojas jer ima i najveću valnu duljinu. Znanstvenici koriste tehnologiju radara sa sintetičkim otvorom za otkrivanje davno izgubljenih civilizacija u prašumi, točnije njihove građevinske ostatke.

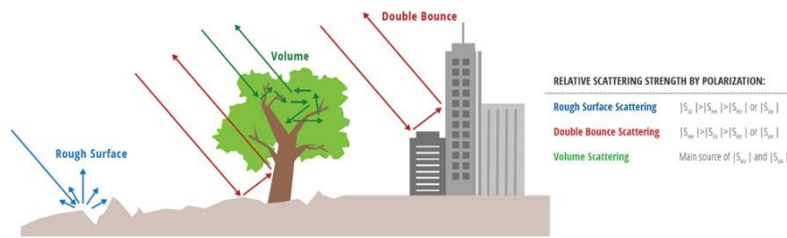
Radar sa sintetičkim otvorom se pokazao vrlo korisnim u širokom rasponu primjena, uključujući praćenje mora i leda, rudarstvo, praćenje zagađenja uljem, oceanografiju, praćenje snijega, klasifikaciju zemlje teren, itd. (Drinkwater i sur., 1990; Lynne i Taylor, 1986; Hovland i sur., 1994; Walker i sur., 1996; Stovold i sur., 2006; Kong i sur., 1990.)

#### 3.4.1. Raspršivanje

Radar djeluje na različite površine i oblike, pa tako postoji i različito raspršivanje (Slika 24). Hrapava površina uzrokuje difuzno raspršenje, zrcalno raspršenje se događa odbijanjem od



ravne površine poput ravnog terena ili voda, a dvostruko odbijanje se događa zbog odbijanja od strukture ili objekte koje je napravio čovjek.

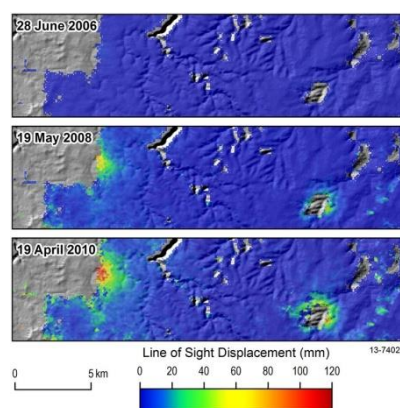


Slika 24. Primjer različitog raspršivanja

(Izvor: <https://www.earthdata.nasa.gov/learn/backgrounders/what-is-sar>)

### 3.4.2. Interferometrija

Interferometrijski radar sa sintetičkom aperturom (InSAR) je geodetska tehnika koja može identificirati pomake Zemljine površine (Slika 25). Promatranja kretanja površine napravljena pomoću interferometrijskog radara sa sintetičkim otvorom mogu se koristiti za otkrivanje, mjerenje i praćenje promjena u zemljinoj kori povezanih s geofizičkim procesima kao što su tektonske aktivnosti i vulkanske erupcije. Slijeganje tla uzrokovano antropogenim utjecajima kao što su podzemne vode ili ekstrakcija ugljikovodika također se može identificirati s interferometrijskim radarom sa sintetičkim otvorom. U kombinaciji s zemaljskim geodetskim nadzorom, kao što su globalni navigacijski satelitski sustavi, interferometrijski radar sa sintetičkim otvorom može identificirati površinska kretanja od milimetara do centimetra s visokom prostornom rezolucijom. (Geoscience Australia, 2022.)



Slika 25. Primjer pomicanja površine snimljeno inSAR-om

(Izvor: <https://www.ga.gov.au/scientific-topics/positioning-navigation/geodesy/geodetic-techniques/interferometric-synthetic-aperture-radar>)

Interferometrijski radar sa sintetičkim otvorom koristi dvije ili više slika radara sa sintetičkom aperturom nekog područja za prepoznavanje kretanja površine kroz vrijeme. Sateliti za daljinsko istraživanje koji prikupljaju slike radara sa sintetičkim otvorom odašilju impulse mikrovalne energije na Zemljinu površinu i bilježe količinu povratno raspršene energije. Korištenje mikrovalne energije pruža mogućnost rada u svim vremenskim uvjetima zbog niske osjetljivosti na oblake i kišu. (Geoscience Australia, 2022.)

## 4. METODE OBRADE I ANALIZE PODATAKA

### 4.1. Klasifikacija

Klasifikacija spada pod jedan od dva temeljna postupka kojima se obrađuju podatci.

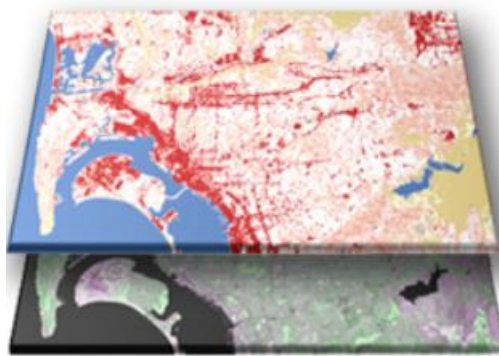
Na temelju ideje da različiti tipovi značajki na zemljinoj površini imaju različita svojstva spektralne refleksije i remitacije, njihovo se prepoznavanje provodi kroz proces klasifikacije. U širem smislu, klasifikacija slika se definira kao proces kategoriziranja svih piksela na slici ili neobrađenih podataka daljinski otkrivenih satelita kako bi se dobio određeni skup oznaka ili tema zemljišnog pokrova. (Lillesand i Keifer, 1994.)

Postoje tri glavne vrste tehnika klasifikacije slika u daljinskom istraživanju.

#### 4.1.1. Klasifikacija slika bez nadzora

Nenadzirana klasifikacija je računalno automatizirana klasifikacija bazirana na pikselima iz snimaka. Analitičar specificira broj klasa te se skladno s time generiraju spektralne klase bazirane prema numeričkoj informaciji podataka. Pikseli su grupirani ovisno o njihovoj međusobnoj sličnosti. Računalo, odnosno software tada analizira svaku skupinu posebno te kategorizira u odgovarajuće klase. Nenadzirana klasifikacija stoga se može definirati kao prepoznavanje grupa ili struktura unutar više-spektralnih podataka uz pomoć računalnih metoda i algoritama. Nenadzirana klasifikacija sastoji se od definiranja, identifikacije, označivanja i mapiranja navedenih prirodnih klasa. (Campbell i Wynne, 2011.)

Klasifikacija slika ovom metodom provodi se tako da se prvo grupira piksele u "klastere" na temelju njihovih svojstava, a zatim svaki klaster klasificira se pojedinom klasom zemljišnog pokrova (Slika 26). Budući da za nenadzirano klasificiranje slika ne trebaju nikakvi uzorci, to ju čini osnovnom i najjednostavnijom tehnikom za segmentiranje i razumijevanje slika.



Slika 26. Izgled slike klasifikacijom bez nadzora

(Izvor: <https://gisgeography.com/image-classification-techniques-remote-sensing/>)

Nenadzirana klasifikacija slika je metoda u kojoj softver za tumačenje slike razdvaja veliki broj nepoznatih piksela na slici na temelju njihove vrijednosti refleksije u klase ili klustere bez uputa analitičara. (Tou i Gonzalez, 1974.)

#### 4.1.2. Nadzirana klasifikacija slika

Nadzirana klasifikacija jest metoda klasificiranja pod nadzorom analitičara. Može se definirati kao postupak korištenja uzoraka poznatih identiteta koje možemo uočiti sa snimaka kako bi klasificirali nepoznate identitete, tj. neklasificirane piksele prema sličnosti sa identificiranima dodjeljujemo u neku od grupa koje smo prije toga definirali. Svaka metoda sastoji se od prednosti i mana, pa tako krećemo sa prvom prednosti, a to je da sam analitičar koji je grupirao podatke ima mogućnost promjene istih ukoliko uoči pogrešku prilikom klasifikacije. Iduća prednost bila bi jednostavnost usporedbe dviju klasifikacija istih područja, ali različitih datuma. Kao manu možemo uključiti rad samog analitičara, jer analiza koja ovisi o odabiru i grupiranju podataka može iziskivati izuzetnu količinu vremena. Druga mana bila bi da je tzv. područje obuke ili prethodno nazivana grupa prvobitno definirana informacijskim atributima, a sekundarno spektralnim karakteristikama. (Campbell i Wynne, 2011.)

Klasifikacija slika ovom metodom provodi se tako da se odabiru reprezentativni uzorci za svaku klasu zemljišnog pokrova. Nakon toga softver ta mjesta koristi kao “mjesta za obuku” te ih primjenjuje na cijelu sliku (Slika 27).



Slika 27. Prikaz slike kad se provodi nadzirana klasifikacija

(Izvor: <https://gisgeography.com/image-classification-techniques-remote-sensing/>)

Kod nadzirane klasifikacije potrebno je prvo uzorke staviti na obuku. Naprimjer urbana područja potrebno je označiti na slici, zatim nastaviti dodavati reprezentativna mjesta za obuku na cijeloj slici.

Za svaku klasu zemljišnog pokrova potrebno je nastaviti stvarati uzorke za obuku dok se ne dobiju reprezentativni uzorci za svaku klasu. Tako se dobije generirana datoteka potpisa koja pohranjuje spektralne informacije svih uzoraka za obuku.

#### 4.1.3. Objektna analiza slike (OBIA)

Trenutno se koriste dva različita pristupa za klasifikaciju slika, a to su analiza slike temeljena na pikselima (PBIA) i analiza slike temeljena na objektima (OBIA). Većina današnjih litoloških mapiranja je poduzeta korištenjem pristupa analize slike temeljene na pikselima. Ye i sur. (2018.) navode da je to metoda koja neovisno dodjeljuje litologiju pikselu prema karakteristikama piksela.

Međutim, objektna analiza slike se nedavno pojavila kao bolja alternativa za mapiranje prostornih uzoraka iz geografskih informacija visoke rezolucije kao što su LiDAR podaci o nadmorskoj visini (Benz i sur., 2004; Ouyang i sur., 2011; Myint i sur., 2011.). Objektna analiza slike, prije procesa klasifikacije, fokusira se na grupiranja piksela u homogene grupe, tj. objekte (Slika 28). U obzir uzima prirodnu strukturu krajolika (susjedstvo, blizinu, homogenost) što joj daje prednost pri radu s topografskim podacima visoke rezolucije, dok analiza slike temeljena na pikselima to ne čini.

Objektna analiza slike također eliminira ono što je opisano kao učinak "sol i papir". Ovaj dobro poznati učinak događa se kada analiza slike temeljena na pikselima opetovano pogrešno klasificira pojedinačne piksele kao različite elemente krajolika od njihovih najbližih susjeda (Blaschke i sur., 2014., Blaschke, 2010.). Ovaj je učinak osobito čest i problematičan pri korištenju slika veće razlučivosti jer jedan piksel ima karakteristike relevantne za malo područje (tj. često jednako ili manje od 1 m<sup>2</sup>), a većina objekata koji zahtijevaju mapiranje veći su od pojedinačne veličine piksela (Whiteside i sur., 2011.). Objektna analiza slike ima prednost u odnosu na klasifikaciju temeljenu na pikselima jer smanjuje efekte soli i papra, koristi spektralne, teksturalne i podatke o susjedstvu tijekom klasifikacije i općenito proizvodi veću točnost (Aguilar i sur., 2016; Brenner i sur., 2012; Gilbertson i sur., 2017; Vieira i sur., 2012.).



Slika 28. Grupirani pikseli u vektorske oblike s veličinom i geometrijom

(Izvor: <https://gisgeography.com/image-classification-techniques-remote-sensing/>)

OBIA segmentacija je proces koji grupira slične piksele u objekte, odnosno to je podjela slike na objekte koji predstavljaju kopnene značajke. Kod takvih objekata koriste se njihova spektralna, geometrijska i prostorna svojstva kako bi se klasificirali u zemljišni pokrov.

Dva najčešća algoritma za segmentaciju su:

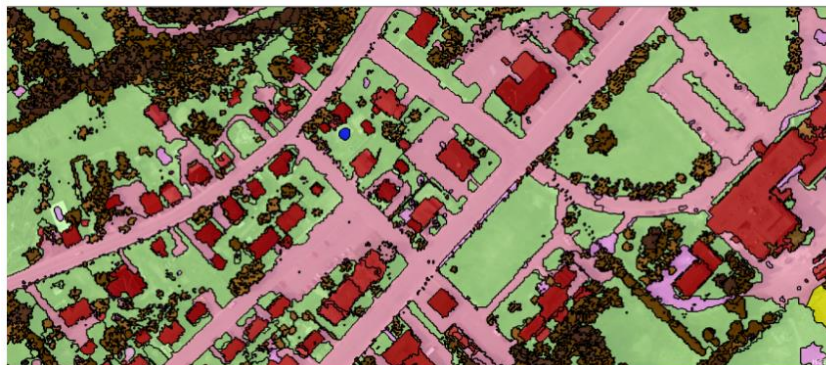
- Segmentacija u više razlučivosti u eCognition-u
- Alat za pomak srednje vrijednosti segmenata u ArcGIS-u

Segmentacija u ArcGIS-u je ograničena te je to alternativna metoda analize slike temeljena na objektu, stoga se češće koristi Trimble eCognition.

Ovisno o tome koliko će objekti biti veliki, postoji parametar koji se procjenjuje za generiranje smislenijih objekata. Također moguće je konfigurirati težine za sve slojeve koji se

segmentiraju. To znači da se ne mora segmentirati samo prema crvenoj, zelenoj ili plavoj boji, već je moguće segmentirati i prema DEM, DSM, NIR ili LiDAR intenzitetu.

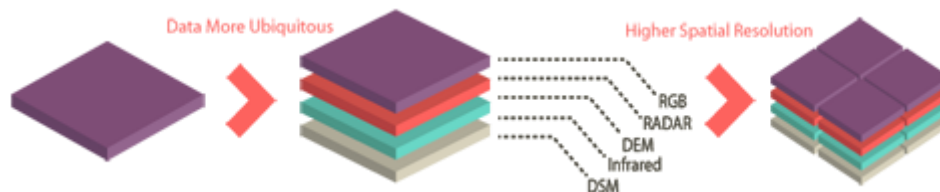
OBIA klasifikacija je proces koji koristi oblik, veličinu i spektralna svojstva objekata za klasifikaciju svakog objekta. Postoje različite metode za klasifikaciju objekata, neke od njih su: klasifikacija po obliku, teksturi, spektralnim svojstvima i geografskom kontekstu, te klasifikacija najbližeg susjeda. Korištenjem nabrojanih metoda proizlazi slika objekta (Slika 29).



Slika 29. Prikaz kombinacije korištenja različitih metoda za klasifikaciju objekata

(Izvor: <https://gisgeography.com/obia-object-based-image-analysis-geobia/>)

OBIA je započela sa staničnim biolozima koji su secirali skenirane slike. GEOBIA (Geographic Object-Based Image Analysis) razlikuje ga od medicinskog podrijetla. Oštrije slike, više spektralnih vrpca i eksplozija prikupljanja podataka mogu pomoći u rješavanju današnjih problema. (GISGeography, 2022.)



Slika 30. Primjer automatizirane obrade podataka

(Izvor: <https://gisgeography.com/obia-object-based-image-analysis-geobia/>)

Da bismo razumjeli sve ove informacije, potrebna nam je analiza slike temeljena na objektima kako bismo automatizirali dio posla umjesto nas. Kako svaki dan prolazi, sateliti u orbiti tiho prikupljaju ogromne količine podataka. Ali čemu služe satelitski podaci ako ih ne znate

koristiti? OBIA se bavi masovnom proizvodnjom. Stvorite skup pravila, pokrenete ga i po potrebi uredite svoju klasifikaciju. (GISGeography, 2022.)

#### 4.2. Spektralni indeksi

Vegetacijski indeksi su podaci koji se računaju iz različitih kanala multispektralnih snimki na temelju apsorpcije, transmisije i refleksije energije vegetacije u različitim spektralnim kanalima. Ponajprije služe kao grafički indikator procjene aktivnosti vegetacije na promatranom području. Vegetacijski indeksi na području s vegetacijom pokazuju veće vrijednosti piksela nego na područjima bez nje. (She i sur., 2015.)

Zahvaljujući karakterističnom spektralnom potpisu biljaka moguće je dobiti vegetacijski indeks kombinacijom snimki iz više različitih spektralnih područja. Klorofil u biljkama jako apsorbira valne duljine u crvenom i plavom dijelu spektra, a odbija zeleno svjetlo. Vegetacijski indeksi predstavljaju bezdimenzionalnu radiometrijsku mjeru, koja se dobiva kombinacijom informacije iz različitih kanala gdje se uglavnom upotrebljavaju crveni i bliskoinfracrveni (engl. Near Infrared – NIR) dio elektromagnetskog spektra. (Maeda i sur., 2016.)

Vegetacijski indeksi pogodni su za praćenje vremenskih promjena vegetacije, vegetacijskog pokrova, rano otkivanje bolesti nasada, procjene uroda kao i za preciznu poljoprivredu. Nakon snimanja i obrade podataka, kartu vegetacijskog indeksa je moguće uvesti u navigacijski sustav u traktoru te na temelju nje lokalizirano tretirati dijelove nasada s manjim vegetacijskim indeksom u svrhu poboljšanja kvalitete navedenih dijelova nasada, što pridonosi uštedi u potrošnji repromaterijala te poboljšanju uroda. (Sito i sur., 2015.)

##### 4.2.1. Vegetacijski indeks normalizirane razlike

Vegetacijski indeks normalizirane razlike (engl. Normalized Difference Vegetation Index – NDVI) najkorišteniji je indikator za otkrivanje promjena u biljnom pokrovu. Uveo ga je Deering 1978. godine i predstavlja omjer između razlike i zbroja bliskoinfracrvenog dijela spektra i crvenog dijela spektra. (Deering, 1978.) Mjerenje refleksije u bliskom infracrvenom i crvenom vidljivom dijelu spektra veoma je precizan mehanizam za određivanje zdravlja vegetacije. Pomoću toga indeksa mogu se pratiti sezonske i višegodišnje vegetacijske promjene. (Jensen i Lulla, 1987.)



Izraz po kojem se računa NDVI iz refleksije svjetlosti u vidljivom i bliskoinfracrvenom spektru glasi (Carlson i Ripley, 1997.):

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

#### 4.2.2. Zeleni vegetacijski indeks normalizirane razlike

Zeleni vegetacijski indeks normalizirane razlike (engl. Green Normalized Difference Vegetation Index – GNDVI) zeleni je NDVI, te umjesto crvenoga kanala upotrebljava zeleni kanal. Mnoge studije su pokazale kako je zeleni kanal u velikoj korelaciji s vegetacijskim parametrima. Neka su istraživanja pokazala kako zeleni dio spektra ima bolju osjetljivost na klorofil od crvenog dijela spektra te je zbog toga nastao GNDVI (Yoder i Waring, 1994.) i pokazao je veću korelaciju s indeksom površine lista (engl. Leaf Area Index – LAI) od NDVI-ja (Wang i sur., 2007.):

$$GNDVI = \frac{NIR - GREEN}{NIR + GREEN}$$

#### 4.2.3. Vegetacijski indeks prilagođen tlu

U područjima s izraženijim površinama tla i manje biljnog pokrova, refleksija svjetlosti u crvenom i infracrvenom dijelu spektra može utjecati na vrijednosti vegetacijskog indeksa. Vegetacijski indeks prilagođen tlu (engl. Soil Adjusted Vegetation Index – SAVI) modificirani je NDVI koji ima iste vrijednosti kao NDVI. Međutim, SAVI se primjenjuje kada je potrebno otkloniti utjecaj atmosfere i tla na snimci sa smanjenim vegetacijskim pokrovom (Huete, 1988.):

$$SAVI = (1 + L) \frac{NIR - RED}{NIR + RED + L}$$

#### 4.2.4. Vegetacijski indeks lisne površine

Pisek i Chen (2007.) istaknuli su da se različiti spektralni indeksi izvedeni iz širokopojasnih senzora koriste s obzirom na njihov kapacitet za procjenu biokemijskih parametara vegetacije, uključujući LAI i sadržaj klorofila.

Kao ključni pokazatelj za opisivanje strukture vegetacijskih krošnji u prirodnim ekosustavima i ekosustavima pod utjecajem čovjeka, indeks lisne površine (LAI) označava se kao polovica površine zelenog lišća po jedinici tla u krošnjama širokolisnih i kao projicirana površina igličastog lišća u krošnjama crnogorice (Chen i Black, 1992.):

$$LAI = \frac{\text{leaf area (m}^2\text{)}}{\text{ground area (m}^2\text{)}}$$

Kao najčešće korišteni podaci daljinskog istraživanja, multispektralne slike pružaju obilje prostornih i spektralnih informacija za dohvaćanje biofizičkih parametara. Na primjer, multispektralne slike serije Landsat već se dugo primjenjuju u pronalaženju LAI otkako je prvi satelit lansiran 1972. (Liu i sur., 2012.)

## 5. ZAKLJUČAK

Razvojem poljoprivrede, povećanjem broja stanovnika i ekološkim čimbenicima koji utječu na poljoprivredu i ekologiju razvila se i tehnologija koja može pretpostaviti, spriječiti ili nas pripremiti da reagiramo sukladno problemima koji nas okružuju. Daljinsko istraživanje je metoda koja je uvelike pomogla pri otkrivanju Zemlje i njenih karakteristika. Praćenje usjeva, štetnika, vegetacijskih čimbenika, atmosfere, oceana, tla, šuma i nepogoda je pomoglo kod preventivnog djelovanja i zaštite.

Svjetski programi poput Landsat-a, Sentinel-a, DigitalGlobe-a i SRTM-a su dali rezultate i informacije nezamislive vrijednosti u društvenim i gospodarskim djelatnostima. Prate već dugi niz godina Zemlju i svemir koji ju okružuje te nam konstatno daju nove informacije koje se mogu primjenjivati u svakodnevnom životu. Uz svemirske programe dolaze i izvori snimanih i dobivenih podataka, kao i senzori kojima se informacije prikupljaju. Obrada dobivenih informacija je vrlo bitan proces pomoću kojega dobijemo podatke u obliku koji se može koristiti za daljnju analizu i primjenu.

Svaki senzor ima određenu ulogu i spektralne pojaseve koji prave fotografije visoke vrijednosti i velikog značaja. Svakako unaprijeđuju proces proizvodnje, isto kao i zaštitu i predviđanje negativnih ekoloških čimbenika. U poljoprivredi su jako bitni vegetacijski indeksi pomoću koji vidimo stvarno stanje usjeva, bolesti koje napadaju usjeve, procjenu gnojidbe, odnosno grafički su indikator procjene aktivnosti vegetacije.

Danas je velika potražnja za što boljom iskoristivosti tla uz što manju štetu, te je potrebna velika proizvodnja kako bi se osiguralo dovoljno hrane za sve na planeti. Precizna poljoprivreda ima velike troškove, ali se svakidašnjim razvojem tehnologije i primjene te tehnologije, troškovi smanjuju, te se zaštita poljoprivrede i okoliša sve više povećava.

## 6. POPIS LITERATURE

Aguilar, M. A. i sur. (2016.): Object-based greenhouse mapping using very high resolution satellite data and Landsat 8 time series Remote Sens.

Anderson R. (2010.): Geologic mapping and characterization of Gale Crater and implications for its potential as a Mars Science Laboratory landing site. Mars J 5:76–128.

Behera, M. D., Tripathi, P., Mishra, B., Kumar, S., Chitale, V., Behera, S.K. (2015.): Above-ground biomass and carbon estimates of Shorea robusta and Tectona grandis forests using QuadPOL ALOS PALSAR data. Adv Space Res.

Behera, M. D. (1999.): Remote sensing and environment. Employment News (Government of India) XXIV(13):1–2.

Benz, U. C. i sur. (2004.): Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.

Biočić, P. (2020.): Mogućnosti primjene IoT tehnologija u poljoprivredi, Završni rad. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike i računarstva

Blaschke, T. (2010.): Object based image analysis for remote sensing ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.

Blaschke, T. i sur. (2014.): Geographic Object-Based Image Analysis -Towards a new paradigm ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.

Brenner, J. C. i sur. (2012.): Segmentation of Landsat Thematic Mapper imagery improves buffelgrass (*Pennisetum ciliare*) pasture mapping in the Sonoran Desert of Mexico Appl. Geogr.

Carlson, T. N., Ripley, D. A. (1997.): On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index, Remote Sensing of Environment, 62(3), 241–252.

Campbell, J. B., Wynne, R. H. (2011.): Introduction to Remote Sensing

Chen, J. M., Black, T. A. (1992.): “Defining leaf area index for non- flat leaves,” Plant Cell & Environment, vol. 15, no. 4, pp. 421–429.

Colomina, I., Molina, P. (2014.): Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: a review. ISPRS J. Photogrammetry Remote Sens. 92, 79–97.

Cracknell, A. P. (2010.): "Surrey Satellite Technology Limited (SSTL) and the Disaster Monitoring Constellation (DMC)." In *Small Satellites for Earth Observation*, edited by R. Sandau, H.-P. Röser, and A. Valenzuelo, 455 pp. Netherlands: Springer.

Deering, D. W. (1978.): *Rangeland reflectance characteristics measured by aircraft and spacecraft sensors*, Ph.D. Thesis, Texas A&M University, College Station.

Drinkwater, M. K., Kwok, R., and Rignot, E. (1990.): "Synthetic aperture radar polarimetry of sea ice," *Proceeding of the 1990 International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Vol. 2, 1525–1528.

Ellison, D., Morris, C. E., Locatelli, B., Sheil, D., Cohen, J., Murdiyarso, D., Gutierrez, V., Noordwijk, M. V., Creed, I. F., Pokorny, J., Gaveau, D., Spracklen, D. V., Tobella, A. B., Ilstedt, U., Teuling, A. J., Gebrehiwot, S. G., Sands, D. C., Muys, B., Verbist, B., Springgay, E., Sugandi, Y., Sullivan, C. A. (2017.): *Trees, forests and water: Cool insights for a hot world*. *Global Environmental Change* 43, 51–61.

Florian Petit (2020.): *What is LiDAR? An overview of LiDAR Sensor, its types, and advantages*. <https://www.blickfeld.com/blog/what-is-lidar-sensor/> (posljednji pristup 1.9.2022.)

Gaulton, R., Danson, F., Ramirez, F. and Gunawan, O. (2013.): "The potential of dual-wavelength laser scanning for estimating vegetation moisture content," *Remote Sensing of Environment*, vol. 132, pp. 32-39.

Geoscience Australia (2022.): *Interferometric Synthetic Aperture Radar*. <https://www.ga.gov.au/scientific-topics/positioning-navigation/geodesy/geodetic-techniques/interferometric-synthetic-aperture-radar> (posljednji pristup 1.9.2022.)

Gilbertson, J. K. i sur. (2017.): *Effect of pan-sharpening multi temporal Landsat 8 imagery for crop type differentiation using different classification techniques* *Comput. Electron. Agric.*

Gillespie, T. W., Chu, J., Frankenberg, E., Thomas, D. (2007.): "Assessment and Prediction of Natural Hazards from Satellite Imagery." *Progress in Physical Geography* 31 (5): 459–470.

GISGeography (2022.): OBIA - Object-Based Image Analysis (GEOBIA). <https://gisgeography.com/obia-object-based-image-analysis-geobia/> (posljednji pristup 5.12.2022.)

GISGeography (2022.): Sentinel Satellites of the Copernicus Programme. <https://gisgeography.com/sentinel-satellites-copernicus-programme/> (posljednji pristup 5.12.2022.)

GISGeography (2022.): SRTM Shuttle Radar Topography Mission. <https://gisgeography.com/srtm-shuttle-radar-topography-mission/> (posljednji pristup 4.12.2022.)

GISGeography (2022.): The 50 Most Influential Satellites in History <https://gisgeography.com/earth-satellite-list/> (posljednji pristup 10.11.2022.)

GISGeography (2022.): Why the Atmospheric Window Matters in Earth Science <https://gisgeography.com/atmospheric-window/> (posljednji pristup 10.11.2022.)

Goetz, A. F. H. (2009.): "Three Decades of Hyperspectral Remote Sensing of the Earth: A Personal View." *Remote Sensing of Environment* 113: S5–16.

Hansen, J. (2004.): Defusing the global warming time bomb, *Scientific American*, 290(3):68–77.

Hansen, M. C., Loveland, T. R. (2012.): A review of large area monitoring of land cover change using Landsat data. *Remote sensing of Environment*, 122, 66-74.

Hovland, H. A., Johannessen, J. A., Digranes, G. (1994.): "Slick detection in SAR images," *Proceeding of the 1994 International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 2038–2040.

Huete, A. (1988.): A soil-adjusted vegetation index (SAVI), *Remote Sensing of Environment*, 25(3), 295–309.

Jackson, R. D. (1983.): Spectral indices in n-space, *Remote Sensing of Environment*, 13:1401–1429.

Jensen, J. R., Lulla, K. (1987.): Introductory digital image processing: A remote sensing perspective, *Geocarto International*, 2(1), 65–65.

Jensen, J. R. (1996.): Remote sensing of the environment: An Earth Resource Perspective. 3th Edn., Prentice Hall, USA, pp: 1-28.

Jin, S., Sun, X., Wu, F., Su, Y. (2021.): Lidar sheds new light on plant phenomics for plant breeding and management: Recent advances and future prospects. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 171, 202 – 223.

Kauth, R. J., Thomas, G. S. (1976.): The tasseled cap – A graphic description of the spectral-temporal development of agricultural crops as seen by Landsat, *Proceedings of the 10th Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data*, Purdue University, West Lafayette, Indiana, pp. 41–51.

Kong, J. A., Yueh, S. H., Lim, H. H., Shin, R. T., van Zyl, J. J. (1990.): “Classification of earth terrain using polarimetric synthetic aperture radar images,” *Progress In Electromagnetics Research, PIER* 03, 327–370.

Lillesand, T. M., Keifer, R. W. (1994.): *Remote Sensing and Image Interpretation*

Liu, J., Pattey, E., Jégo, G. (2012.): “Assessment of vegetation indices for regional crop green LAI estimation from Landsat images over multiple growing seasons,” *Remote Sensing of Environment*, vol. 123, no. 3, pp. 347-358.

Lu, B., Dao, P.D., Liu, J., He, Y., Shang, J. (2020.): Recent advances of hyperspectral imaging technology and applications in agriculture. *Rem. Sens.* 12.

Lynne, G. L. and Taylor, G. R. (1986.): “Geological assessment of SIRB imagery of the amadeus basin,” *IEEE Trans on Geosc. and Remote Sensing*, Vol. 24, No. 4, 575–581.

MacDicken, K. i sur. (2016.): *Global forest resources assessment 2015: how are the world’s forests changing?* FAO

Maeda, E. E., Moura, Y. M., Wagner, F., Hilker, T., Lyapustin, A. I., Wang, Y., Chave, J., Mõttus, M., Aragão, L. E. O. C., Shimabukuro, Y. (2016.): Consistency of vegetation index seasonality across the Amazon rainforest, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 52, 42–53.

Tumpić, M. (2009.): Špijunirajmo se pomoću satelita <https://www.zvjezdarnica.com/astronautika/svemirske-letjelice/spijunirajmo-se-pomocu-satelita/721> (posljednji pristup 5.12.2022.)

- McDonald, R. B., Hall, F. G. (1980.): Global crop forecasting, *Science*, 208:670–679.
- Melesse, A. M., Weng, Q., Thenkabail, P. S., Senay, G. B. (2007.): “Remote Sensing Sensors and Applications in Environmental Resources Mapping and Modelling.” *Sensors* 7 (12): 3209– 3241.
- Moore, G. K. (1979.): What is a picture worth? A history of remote sensing. *Hydrol Sci Bull* 24:477–485.
- Moriya, E. A. S., Imai, N. N., Tommaselli, A. M. G., Berveglieri, A., Santos, G. H., Soares, M. A., Marino, M., Reis, T. T. (2021.): Detection and mapping of trees infected with citrus gummosis using UAV hyperspectral data. *Comput. Electron. Agric.* 188, 106-298.
- Mulla, D. J. (2013.): Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: key advances and remaining knowledge gaps. *Biosyst. Eng.* 114, 358–371.
- Myint, S.W. i sur. (2011.): Per-pixel vs. object-based classification of urban land cover extraction using high spatial resolution imagery *Remote Sens. Environ.*
- NASA earth observatory (2022.): NASA earth observatory . <https://earthobservatory.nasa.gov/features/OrbitsCatalog/page2.php> (posljednji pristup 5.12.2022.)
- National Research Council (1986.): *Remote Sensing of the Biosphere*, National Academy Press, Washington, D.C.
- Ouyang, Z. T. i sur. (2011.): A comparison of pixel-based and object-oriented approaches to VHR imagery for mapping saltmarsh plants *Ecol. Inf.*
- Pisek, J. Chen, J. M. (2007.): Comparison and validation of MODIS and VEGETATION global LAI products over four Big Foot sites in North America. *Remote Sensing of Environment*, 109, pp. 81–94.
- PrecisionHawk (2022.): Beyond the edge- Multispectral sensors. <https://www.precisionhawk.com/sensors/advanced-sensors-and-data-collection/multispectral> (posljednji pristup 1.9.2022.)
- PrecisionHawk (2022.): Capturing multispectral data using drones. <https://www.precisionhawk.com/agriculture/multispectral> (posljednji pristup 1.9.2022.)



Programme of the European Union (2022.): Programme of the European Union <https://www.copernicus.eu/en/about-copernicus/copernicus-detail> (posljednji pristup 5.12.2022.)

Reschke, J., Hüttich, C. (2014.): Continuous field mapping of Mediterranean wetlands using sub-pixel spectral signatures and multi-temporal Landsat data. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 28, 220–229.

Roy, P. S., Behera, M. D. (2000.): Perspectives of biodiversity characterization from space. *Employ News (Gov India) XXV(16):1–2.*

Roy, P. S., Tomar, S. (2000.): Biodiversity characterization at landscape level using geospatial modelling technique. *Biol Conserv* 95(1):95–109.

Roy, P. S., Ravan, S. A. (1996.): Biomass estimation using satellite remote sensing data—an investigation on possible approaches for natural forest. *J Biosci* 21(4):535–561.

Sandau, R. (2010.): “Status and Trends of Small Satellite Missions for Earth Observation.” *Acta Astronautica* 66 (1–2): 1–12.

Sandia National Laboratories (2022.): What is Synthetic Aperture Radar (SAR)? <https://www.sandia.gov/radar/pathfinder-radar-isr-and-synthetic-aperture-radar-sar-systems/what-is-sar/> (posljednji pristup 1.9.2022.)

Salomonson, V. V. (1984.): Special Issue on Landsat-4, *IEEE Transactions in Geosciences and Remote Sensing*, GE-22.

Sellers, P. J., Williams, D. L., Scolese, C. J., Irons, J. R., King, M. D., Westmeyer, P. A., Thompson, L. L. (1995.): Earth science, Landsat, and the earth observing system (EOS), *Proceedings of Land Satellite Information in the Next Decade*, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Vienna, Virginia, Vol. IV, pp. 29–45.

She, X., Zhang, L., Cen, Y., Wu, T., Huang, C., Baig, M. H. A. (2015.): Comparison of the Continuity of Vegetation Indices Derived from Landsat 8 OLI and Landsat 7 ETM+ Data among Different Vegetation Types, *Remote Sensing*, 7(10), 13485– 13506.

Short, N. M., Lowan Jr., P. D., Freden, S. C., Finch Jr., W. A. (1976.): *Mission to Earth: Landsat Views the World*, NASA Special Publication 360, NASA Science and Technical Information Office, Washington, D.C.

Sito S., Kovačić F., Krznarić K., Šket B., Šimunović V., Grubor M., Koren M., (2015.): Primjena bespilotnih sustava u zaštiti trajnih nasada

Skolnik, M. I. (1970.): Radar Handbook, McGraw-Hill, New York.

Sky Brokers (2022.): DigitalGlobe (MAXAR) <https://sky-brokers.com/supplier/digitalglobe-maxar/> (posljednji pristup 1.9.2022.)

Storvold, R., Malnes, E., Larsen, Y., Hogda, K. A., Hamran, S. E., Mueller, K., Langley, K. (2006.): "SAR remote sensing of snow parameters in norwegian areas — Current status and future perspective," Journal of Electromagnetic Waves and Applications, Vol. 20, No. 13, 1751–1759.

The European Space Agency (2022.): The European Space Agency <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions> (posljednji pristup 1.9.2022.)

The European Space Agency (2020.): Types of orbits [https://www.esa.int/Enabling\\_Support/Space\\_Transportation/Types\\_of\\_orbits](https://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Transportation/Types_of_orbits) (posljednji pristup 5.12.2022.)

Tou, J. T., Gonzalez, R. C. (1974.): "Pattern recognition principles", Image Rochester NY, vol. 7.

Tucker, C. J. (1979.): Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation, Remote Sensing of Environment, 8:127–150.

Turner, W., Spector, S., Gardiner, N., Fladeland, M., Sterling, E., Steininger, M. (2003.): "Remote Sensing for Biodiversity Science and Conservation." Trends in Ecology & Evolution 18 (6): 306–314.

Turner, W., Buchanan, G., Rondinini, C., Dwyer, J., Herold, M., Pin Koh, L., Leidner, A., Leimgruber, P., Mora, B., Pettorelli, N., Szantoi, Z., Hannes, T., Wegmann, M., Wikelski, M. (2013.): "Satellites: Make Data Freely Accessible." Nature 498 (7452): 37.

Ulaby, F. T., Moore, R. K., Fung, A. K. (1981.): Microwave Remote Sensing: Active and Passive, Vol. I, Artech House, Norwood.

Unninayar, S., Olsen, L. (2008.): "Monitoring, Observations, and Remote Sensing – Global Dimensions." Encyclopedia of Ecology, pp. 2425–2446.

USGS (2022.): Earth Explorer <https://www.usgs.gov/educational-resources/earth-explorer> (posljednji pristup 5.12.2022.)

USGS (2022.): What is a digital elevation model (DEM)? <https://www.usgs.gov/faqs/what-digital-elevation-model-dem> (posljednji pristup 1.9.2022.)

Van der Merwea, D., Burchfieldb , D. R., Wittb ,T. D, Pricec, K. P., Shardad, A. (2020.) Drones in agriculture

Venkataratnam, L. (2001.): Remote sensing and GIS in agricultural resources management. Proceedings of the 1st National Conference on Agro-Informatics, June 3-4, Dharwad, India, pp: 20-29.

Vieira, M. A. i sur. (2012.): Object based image analysis and data mining applied to a remotely sensed Landsat time-series to map sugarcane over large areas Remote Sens. Environ.

Wang, F., Huang, J., Tang, Y., Wang, X. (2007.): New Vegetation Index and Its Application in Estimating Leaf Area Index of Rice, Rice Science, 14(3), 195–203.

Wang, K., Franklin, S. E., Gou, X., Cattet, M. (2010.): “Remote Sensing of Ecology, Biodiversity and Conservation: A Review from the Perspective of Remote Sensing Specialists.” Sensors 10 (11): 9647–9667.

Waldner, F., Duveiller, G., Defourny, P. (2018.): Local adjustments of image spatial resolution to optimize large-area mapping in the era of big data. Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf. 73, 374–385.

Walker, B., Sander, G., Thompson, M., Burns, B., Fellerhoff, R., Dubbert D. (1996.): “A high-resolution, four-band SAR Testbed with real-time image formation,” Proceeding of the 1986 International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 1881–1885.

Whiteside, T. G. i sur. (2011.): Comparing object-based and pixel-based classifications for mapping savannas Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf

Wulder, M. A., Masek, J. G., Cohen, W. B., Loveland, T. R., Woodcock, C. E. (2012.): Opening the archive: How free data has enabled the science and monitoring promise of Landsat. Remote Sensing of Environment, 122, 2-10.

Ye, S., i sur. (2018.): A review of accuracy assessment for object-based image analysis: From per-pixel to per-polygon approaches ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.

Yida (2020.): What is a LiDAR Sensor? – Technology, Uses, Projects. <https://www.seeedstudio.com/blog/2019/12/31/what-is-a-lidar-sensor-technology-uses-projects/> (posljednji pristup 1.9.2022.)

Yoder, B. J., Waring, R. H. (1994.): The normalized difference vegetation index of small Douglas-fir canopies with varying chlorophyll concentrations, Remote Sensing of Environment, 49(1), 81–91.

## 7. SAŽETAK

U radu je opisano što znači daljinsko istraživanje koje je danas postalo standard u razvoju i prikupljanju podataka visoke vrijednosti u poljoprivredi i zaštiti okoliša, kao i u drugim djelatnostima. Isto tako su opisani razni svjetski programi uspostavljeni za prikupljanje, analizu i obradu podataka koji koriste razne izvore podataka kako bi bili dostupni za upotrebu. Svi podaci se prikupljaju pomoću senzora koji se nalaze na raznim satelitima orbitirajući oko Zemlje. Važnost senzora je velika jer ovisno o karakteristikama senzora specificira se njihova sama primjena što pomaže kod raznih zahtjeva u poljoprivredi poput sastava atmosfere, vremenskih uvjeta, spektralnih indeksa, skeniranje objekata ili određenog terena. Uz obradu podataka pomoću klasifikacije ili izračuna vegetacijskih indeksa moguće je primjeniti podatke u praksi što je i cilj kako bi dobili veću proizvodnju uz kvalitetu i uštedu.

Ključne riječi: daljinsko istraživanje, svjetski programi, senzori, obrada podataka

## 8. SUMMARY

The paper describes what remote sensing means, which today has become a standard in the development and collection of high-value data in agriculture and environmental protection, as well as in other activities. Also described are the various worldwide programs established to collect, analyze and process data using various data sources to make them available for use. All data is collected using sensors located on various satellites orbiting the Earth. The importance of sensors is great because, depending on the characteristics of the sensors, their application itself is specified, which helps with various requirements in agriculture, such as the composition of the atmosphere, weather conditions, spectral indices, scanning of objects or specific terrain. With data processing using classification or calculation of vegetation indices, it is possible to apply the data in practice, which is the goal in order to obtain higher production with quality and savings.

Key words: remote sensing, world programs, sensors, data processing

## 9. POPIS TABLICA

Tablica 1. Oznake frekvencijskog pojasa Landsat satelita (<https://gisgeography.com/landsat-8-bands-combinations/>)

## 10. POPIS SLIKA

Slika 1. Corona satelit(3.9.2022.)

Slika 2. GeoEye(3.9.2022.)

Slika 3. SeaStar(3.9.2022.)

Slika 4. Polarna orbita(3.9.2022.)

Slika 5. Geostacionarna i geosinkrona orbita(3.9.2022.)

Slika 6. Earth Explorer stranica(3.9.2022.)

Slika 7. Kamera kao aktivni senzor(3.9.2022.)

Slika 8. Snimka aktivnog daljinskog istraživanja(3.9.2022.)

Slika 9. Kombinacija pojaseva 4, 3, 2(3.9.2022.)

Slika 10. Kombinacija pojaseva 6, 5, 2(3.9.2022.)

Slika 11. Sentinel misije(3.9.2022.)

Slika 12. Opožareno kopno(3.9.2022.)

Slika 13. Širenje SO<sub>2</sub> nakon erupcije vulkana Hunga Tonga(3.9.2022.)

Slika 14. Rezolucije i valne duljine pojaseva GeoEye-a(3.9.2022.)

Slika 15. Prikaz digitalnog modela elevacije proučavane površine(3.9.2022.)

Slika 16. MicaSense Altum multispektralni senzor(3.9.2022.)

Slika 17. Prikaz elektromagnetskog spektra 3 različita senzora(3.9.2022.)

Slika 18. Hyperspec Ext-VNIR hiperspektralni senzor(3.9.2022.)

Slika 19. Atmosferski prozor(3.9.2022.)

Slika 20. Primjer refleksije svjetlosti(3.9.2022.)

Slika 21. Primjer snimke LiDAR senzora(3.9.2022.)

Slika 22. Ilustracija kako funkcionira zračni LiDAR senzor(3.9.2022.)

Slika 23. Primjer zemaljskog LiDAR senzora(3.9.2022.)



Slika 24. Primjer različitog raspršivanja(3.9.2022.)

Slika 25. Primjer pomicanja površine snimljeno inSAR-om(3.9.2022.)

Slika 26. Izgled slike klasifikacijom bez nadzora(3.9.2022.)

Slika 27. Prikaz slike kad se provodi nadzirana klasifikacija(3.9.2022.)

Slika 28. Grupirani pikseli u vektorske oblike s veličinom i geometrijom(3.9.2022.)

Slika 29. Prikaz kombinacije korištenja različitih metoda za klasifikaciju objekata(3.9.2022.)

Slika 30. Primjer automatizirane obrade podataka(1.12.2022.)

**TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA**  
**Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku**  
**Fakultet Agrobiotehničkih znanosti Osijek**  
**Sveučilišni diplomski studij, smjer Mehanizacija**

**Diplomski rad**

Analiza globalnih satelitskih misija daljinskih istraživanja od interesa za poljoprivredu i zaštitu okoliša

Antonio Jakubek

**Sažetak:** U radu je opisano što znači daljinsko istraživanje koje je danas postalo standard u razvoju i prikupljanju podataka visoke vrijednosti u poljoprivredi i zaštiti okoliša, kao i u drugim djelatnostima. Isto tako su opisani razni svjetski programi uspostavljeni za prikupljanje, analizu i obradu podataka koji koriste razne izvore podataka kako bi bili dostupni za upotrebu. Svi podaci se prikupljaju pomoću senzora koji se nalaze na raznim satelitima orbitirajući oko Zemlje. Važnost senzora je velika jer ovisno o karakteristikama senzora specificira se njihova sama primjena što pomaže kod raznih zahtjeva u poljoprivredi poput sastava atmosfere, vremenskih uvjeta, spektralnih indeksa, skeniranje objekata ili određenog terena. Uz obradu podataka pomoću klasifikacije ili izračuna vegetacijskih indeksa moguće je primijeniti podatke u praksi što je i cilj kako bi dobili veću proizvodnju uz kvalitetu i uštedu.

**Rad je izrađen pri:** Fakultet Agrobiotehničkih znanosti u Osijeku

**Mentor:** prof.dr.sc. Mladen Jurišić

**Broj stranica:** 52

**Broj slika:** 30

**Broj tablica:** 1

**Broj literaturnih navoda:** 94

**Jezik izvornika:** hrvatski

**Ključne riječi:** daljinsko istraživanje, svjetski programi, senzori, obrada podataka

**Datum obrane:**

**Stručno povjerenstvo za obranu:**

1. izv.prof.dr.sc. Ivan Plaščak
2. prof.dr.sc. Mladen Jurišić
3. prof.dr.sc. Irena Rapčan

**Rad je pohranjen u:** Knjižnica fakulteta Agrobiotehničkih znanosti u Osijeku, Sveučilište u Osijeku, Vladimira Preloga 1, 31000 Osijek

**BASIC DOCUMENTATION CARD**

**Josip Juraj Strossmayer University of Osijek**  
**Faculty of Agrobiotechnical sciences Osijek**  
**University Graduate Studies, course Mechanization**

**Graduate thesis**

Analysis of global remote sensing satellite missions of interest to agriculture and environmental protection

Antonio Jakubek

**Abstract:** The paper describes what remote sensing means, which today has become a standard in the development and collection of high-value data in agriculture and environmental protection, as well as in other activities. Also described are the various worldwide programs established to collect, analyze and process data using various data sources to make them available for use. All data is collected using sensors located on various satellites orbiting the Earth. The importance of sensors is great because, depending on the characteristics of the sensors, their application itself is specified, which helps with various requirements in agriculture, such as the composition of the atmosphere, weather conditions, spectral indices, scanning of objects or specific terrain. With data processing using classification or calculation of vegetation indices, it is possible to apply the data in practice, which is the goal in order to obtain higher production with quality and savings.

**Thesis performed at:** Faculty of Agrobiotechnical sciences in Osijek

**Mentor:** prof.dr.sc. Mladen Jurišić

**Number of pages:** 52

**Number of figures:** 30

**Number of tables:** 1

**Number of references:** 94

**Original in:** Croatian

**Key words:** remote sensing, world programs, sensors, data processing

**Thesis defended on date:**

**Reviewers:**

1. izv.prof.dr.sc. Ivan Plaščak
2. prof.dr.sc. Mladen Jurišić
3. prof.dr.sc. Irena Rapčan

**Thesis deposited at:** Library of the Faculty of Agrobiotechnical Sciences in Osijek,  
University of Osijek, Vladimira Preloga 1, 31000 Osijek